Л. Т. КРЕКНИН

ПРОИЗВОДСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ

Часть 1 — производство стволов

ИЖЕВСК 1998

УДК 621.7 : 623.4

Рецензенты: доктор технических наук, профессор В. С. Камалов (заведующий кафедрой СМ-12 МГТУ им.Н. Э. Баумана, г. Москва), доктор технических наук, профессор В. В. Любимов (заведующий кафедрой "Производство машин и аппаратов" ТГТУ, г. Тула).

Учебное пособие предназначено для подготовки специалистов оборонных отраслей промышленности по производству гражданского и боевого стрелково-артиллерийского автоматического оружия.

ISBN 5-89806-003-0

УДК 621.7:623.4

ПРЕДИСЛОВИЕ

Автором данной книги является Крекнин Леонид Тимофеевич, доктор технических наук, профессор Ижевского государственного технического университета, более 40 лет отдавший приобретению на оружейных производствах страны опыта по изготовлению стрелково-артиллерийского автоматического оружия и последующей передаче своих знаний студентам соответствующих специальностей.

Несмотря на неоднократные попытки опубликования аналогичного открытого труда, эта книга является единственным изданием в отечественной и мировой практике.

Естественно, в книгу не вошли закрытые материалы, связанные с новейшей технологией производства, особенно по повышению могущества оружия, по мере рассекречивания они войдут в последующих дополненных изданиях.

В настоящее время отсутствует какая-либо литература, в том числе учебники и учебные пособия, по курсу "Производство вооружения". Особенно это касается "Технологии производства автоматического оружия". Написание данной книги продиктовано острой необходимостью подготовки высококвалифицированных инженеров-механиков оружейного производства в высших учебных заведениях страны.

При написании книги автором использованы открытые материалы специальных информационно-технических источников, результаты работ ведущих НИИ, КБ и заводов отрасли, а также собственных исследований по совершенствованию технологии производства вооружения.

В целом книга состоит из трех частей:

- часть 1 - производство стволов,
- часть 2 - производство типовых деталей оружия,
- часть 3 - технология сборки и испытаний оружия.

Часть 1 книги посвящена прогрессивным технологическим процессам производства стволов стрелково-артиллерийского автоматического оружия. По каждому методу обработки даются сущность и схемы процесса, область применения, кинематика, механика, и физика процесса, режимы обработки, оборудование, технологическая оснастка, элементы автоматизации, достоинства и недостатки процесса.

Книга рассчитана на читателей, хорошо знающих материально-техническую часть современных образцов ствольного вооружения и знакомых с материаловедением, технологией обработки конструкционных материалов, металлорежущими станками, приспособлениями, режущими и измерительными инструментами, основами взаимозаменяемости и автоматизации технологических процессов.

Книга предназначена для студентов и аспирантов соответствующих специальностей, а также может быть полезна для слушателей курсов повышения квалификации специалистов-оружейников.

ВВЕДЕНИЕ

Жизнь человечества неразрывно связана с оружием. Оно служит ему надежным средством как защиты, так и нападения. И чем эффективнее оно, тем больших результатов достигается при его использовании. Поэтому постоянное совершенствование систем вооружения было, есть и будет всегда.

Еще в Киевской Руси в XI веке ремесленники изготовляли оружие в достаточных количествах для вооружения княжеских дружин. Знаменитая царь-пушка, отлитая и изготовленная мастером Андреем Чоховым в 1587 году, сохранилась до наших дней. В 1615 году в России была изготовлена первая пушка с нарезным стволом. В 1632 году около Тулы были построены заводы для производства литых пушек, стволы которых изготавливались сверлением и растачиванием. Значительный вклад в технологию производства оружия был внесен в эпоху Петра Первого А. К. Нартовым (1680 — 1756 г.), разработавшим ряд новых технологических процессов изготовления стрелкового и артиллерийского вооружения и создавшего для этого новые оригинальные станки и инструменты, принципиальные схемы которых используются и в наше время. Значительный вклад внесен был А. К. Нартовым в механизацию технологических процессов и начало их автоматизации путем создания первого в мире токарного станка с механическим суппортом. Существенный вклад в дальнейшее развитие технологии оружейного производства и его механизацию внесли работники Тульского оружейного завода М. В. Сидоров, Я. Б. Батищев и П. Д. Захава, разработавшие не только ряд новых процессов, но и создавшие значительное количество необходимых специальных станков и инструментов. На Тульском оружейном заводе еще в 1761 году впервые в мире было разработано и внедрено изго-

товление взаимозаменяемых деталей и их измерение при помощи калибров. И. И. Ползунов и его сподвижники построили первую в мире паровую машину (1765 г.). В последующее время технология производства оружия получила дальнейшее развитие не только на оружейных, но и на вновь возникших машиностроительных предприятиях.

В процессе работы над книгой встретилось очень много трудностей, связанных с недостаточной строгостью установившихся понятий и определений.

Главы 1, 2, 3, 4 написаны при участии инженера А. Л. Крекнина, поэтому за это и за участие в издании данной книги автор выражает ему искреннюю благодарность.

Автор с благодарностью примет все критические замечания и пожелания, способствующие повышению качества данного учебного пособия.

1. КОНСТРУКЦИИ СТВОЛОВ, МАТЕРИАЛЫ И ЗАГОТОВКИ

1.1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТВОЛОВ

Ствол является основной деталью автоматического оружия. Он служит каморой для превращения потенциальной энергии какого-либо вещества (твердого, жидкого, газообразного) или физического эффекта (лазерного, электромагнитного и др.) в кинетическую энергию пули (снаряда). Ствол выполняет важнейшие функции в системе средств доставки, являясь двигателем и трансмиссией, обеспечивая строго ориентированное в пространстве положение вектора начальной скорости снаряда и, в большинстве видов современного оружия, придавая снаряду вращательное движение, обеспечивающее ему гироскопическую устойчивость в полете [1].

Поскольку ствол в процессе эксплуатации испытывает сложные высокоскоростные термо-силовые нагрузки (рис. 1.1.), то к нему предъявляются определенные требования по надежности, в частности - безотказности и долговечности (живучести). Безотказность обеспечивается прочностью стенок ствола, способностью его выдерживать давление до 450МПа и более. Долговечность обеспечивается износостойкостью и жаропрочностью канала ствола.

Ведущие части снаряда, врезаясь в нарезы, получают существенные пластические деформации и оказывают дополнительное давление на стенку канала ствола. Износ канала ствола вызывается трением о его поверхность ведущих поверхностей снаряда и пояска, движущихся

с большой силой трения и высокой скоростью (до 1500м/с и более). Двигаясь вслед за снарядом, а также прорываясь частично в зазоры между стенками ствола и снаряда, газы производят интенсивное тепловое, химическое и эрозионное воздействие на канал ствола, вызывая его изнашивание.

Быстрое истирание поверхности канала ствола приводит к потере некоторых необходимых для обеспечения эффективности стрельбы свойств (увеличивается рассеивание пуль и снарядов, теряется устойчивость в полете, снижается начальная скорость).

Высокая температура газов (до 400°С и более) обуславливает быстрый нагрев стволов автоматического оружия во время стрельбы. Увеличение температуры ствола выше определенного предела (более 700°С) снижает его прочностные характеристики и срок службы. Все это в конечном счете ограничивает режим огня (допустимое число выстрелов при непрерывной стрельбе).

Увеличение срока службы ствола может быть достигнуто применением высоколегированных износостойких и термостойких сталей, жаропрочных сплавов и покрытий.

По особенностям конструктивного исполнения различают стволы-моноблоки, скрепленные и легированные стволы.

Стволы, изготовленные из одного куска металла, называются стволами-моноблоками. В целях увеличения прочности ствола можно изготовить его из двух и более труб, надетых одна на другую с натягом. Такой ствол называется скрепленным. В целях повышения живучести изготавливается только тонкая трубка (лейнер), которая вставляется в стальную толстостенную трубу. В этом случае ствол называется лейнированным. Различают полное и частичное лейнирование. Полное лейнирование производится на всю длину канала ствола, а частичное - в наиболее подверженных изнашиванию местах канала ствола (в начале и конце нарезов).

Внутренняя полость ствола называется каналом. В канале имеются патронник, пульный вход и направляющая часть канала ствола. Конструкция и размеры патронника определяются конструкцией гильзы. Для уменьшения сил трения иногда применяются канавки Ревелли, которые, создавая противодавление на определенной части наружной поверхности гильзы, облегчают ее извлечение (экстракцию).

Пульный вход является переходным участком между патронником и направляющей частью канала ствола. В нарезном оружии пульный вход состоит из двух конусов, первый из которых уменьшает диаметр патронника до диаметра полей нарезов. Разность диаметров на этом конусе равна удвоенной толщине дульца гильзы. Второй конус служит для обеспечения постепенного врезания пули в нарезы (в гладкоствольном оружии этот конус отсутствует).

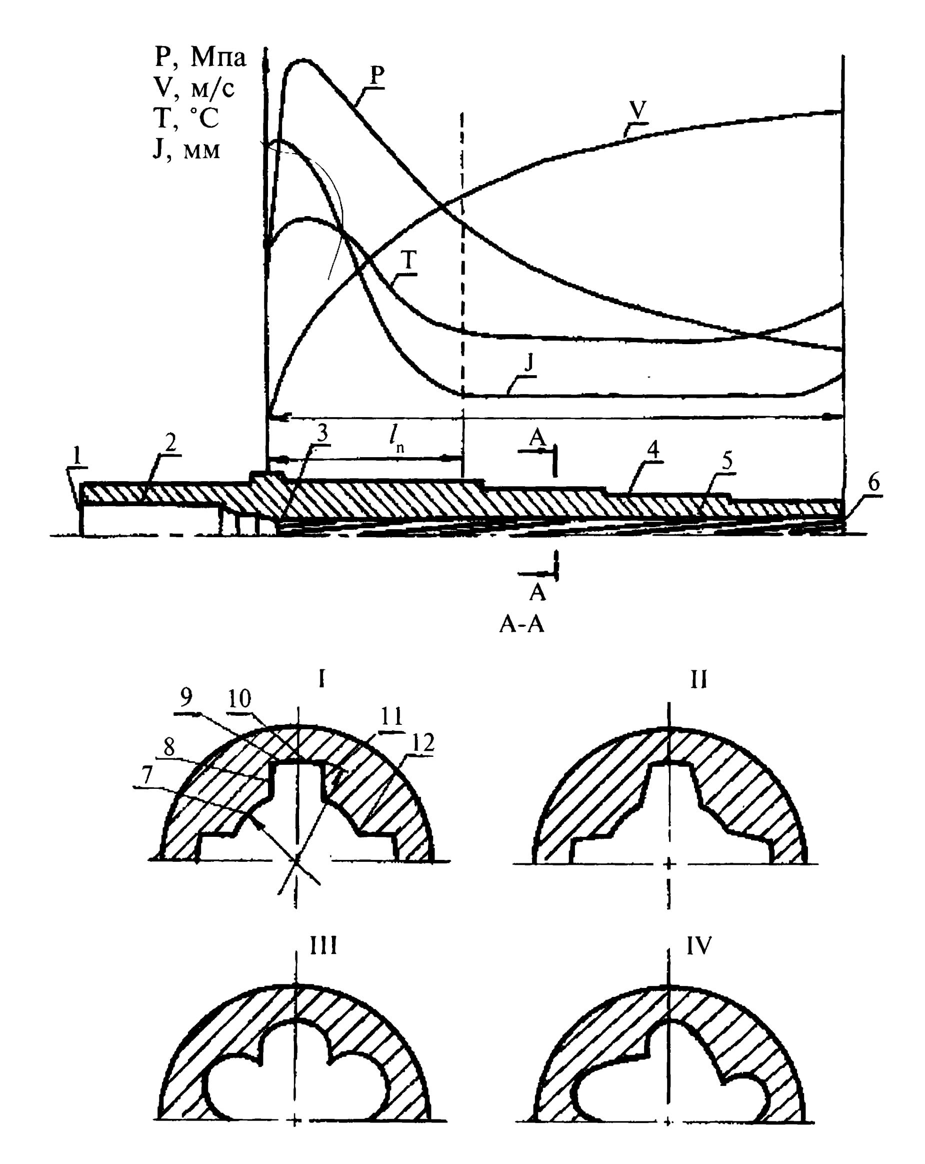


Рис. 1.1. Характер скоростных (V) и термосиловых (T, P, J) воздействий на ствол: 1 - казенный срез, 2 - патронник, 3 - пульный вход, 4 - наружная поверхность ствола, 5 - направляющая часть канала ствола, 6 - дульный срез, 7 - поле, 8 - боевая грань нареза, 9 - угол дна нареза, 10 - дно нареза, 11 - холостая грань нареза, 12 - угол поля; профили нарезов: I - прямоугольный, II - трапецеидальный, III - сегментный, IV - эвольвентный

Длина направляющей части ствола выбирается из условий обеспечения полного сгорания пороха и достаточного свободного расширения пороховых газов с целью получения высокого термодинамического КПД заряда.

Большинство современного боевого и спортивного оружия делается с нарезными стволами. В различных армиях приняты разные формы нарезов (рис. 1.1.). В России за исходную принята прямоугольная форма (в сечении) нарезов, а глубина нарезов составляет 1,5-2% калибра оружия. Число нарезов увеличивается с увеличением калибра. Для хорошего заполнения нарезов материалом оболочки пули, площадь ее поперечного сечения должна быть на 1-2% больше поперечного сечения канала ствола.

Для лучшего заполнения нарезов, уменьшения возможности прорыва пороховых газов и их эрозионного воздействия на поверхность канала ствола целесообразно изготовлять нарезы с более плавными контурами, а профиль с прямоугольной формой нарезов является неудачным для пулевого автоматического оружия.

Шаг нарезов (длина канала ствола, на которой нарезы совершают полный оборот) также имеет существенное влияние на кучность стрельбы. Нарезы могут быть постоянной и переменной крутизны, а по направлению - левые и правые. Выбор шага нарезов должен обеспечивать достаточный запас устойчивости пули в полете.

Конструкция дульной части ствола должна исключать случайные повреждения выходного сечения, которые также отрицательно сказываются на кучность стрельбы.

В дробовом охотничьем оружии направляющая часть канала ствола гладкая (без нарезов), а его дульная часть может быть сужена (конически или параболически) или расширена. Сужение канала называется чоком. В зависимости от величины сужения, которое улучшает кучность стрельбы, различают получок, средний чок, чок, сильный чок. Расширение в дульной части, называемое раструбом, увеличивает рассеивание дроби и может быть выполнено в виде конуса или иметь другую форму [1].

Наружная поверхность стволов бывает цилиндрической, конической и ступенчатой.

Цилиндрические стволы применяются в целевом оружии. Толстые стенки обеспечивают большую поперечную жесткость. Увеличение массы способствует улучшению устойчивости целевого оружия при прицеливании и выстреле.

Конические стволы применяются в крупнокалиберных системах, что позволяет приблизить кривую действительного сопротивления ствола к кривой желаемого сопротивления и тем самым обеспечить конструирование ствола минимальной массы.

Ступенчатые стволы наиболее распространены в боевом стрелковом оружии. Количество ступеней зависит от числа посадочных мест для соединения с сопряженными деталями (арматурой ствола).

В основном все стволы делятся на две группы: стволы являющиеся и не являющиеся телами вращения. Наиболее технологичными следует считать те стволы, обработка которых проводится на станках токарной группы.

Точность изготовления внутренних поверхностей стволов достигает 6-7 квалитетов, наружных — до 8-9 квалитетов по ГОСТ 25347-82.

Шероховатость внутренних поверхностей достигает Ra=0,16-0,32мкм, наружных посадочных Ra=0,32-0,63мкм, остальных наружных поверхностей — 20-40мкм по ГОСТ 2789-73.

При механической обработке основными технологическими и установочными базами являются казенный срез, определяющий расположение элементов ствола по его длине, канал ствола и дульный срез. В данном случае соблюдается принцип совмещения конструкторских и технологических баз. При обработке канала ствола деталь базируется по наружной поверхности. При обработке наружной поверхности деталь базируется по каналу. База со стороны казенного среза является жесткой и все размеры по длине даются от нее.

Следует иметь ввиду, что все стволы автоматического оружия являются нетехнологичными, так как при их производстве требуется применение специальных методов обработки, оборудования и технологического оснащения.

1.2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СТВОЛОВ

К стволам автоматического оружия предъявляются следующие требования: прочность, живучесть, жесткость, износостойкость, коррозионная и эрозионная стойкость.

В связи с этим к материалам для изготовления стволов также предъявляются определенные требования: высокие значения прочности, пластичности, вязкости, износостойкости, жаропрочности, коррозионной и эрозийной стойкости.

Основными конструкционными материалами для производства стволов являются стали типа углеродистой 50РА ОСТ 3-98-88, хромоникельмолибденованадиевых 30ХН2МФА ОСТ 3-98-88 (ГОСТ 4543-88) и ОХН3МФА ГОСТ В 5192-88.

Сталь 50РА применяется для изготовления стволов калибром до 9мм с низкой скорострельностью (темпом стрельбы) до 600 выстрелов в минуту. Малые добавки бора используются для увеличения прокаливаемости.

Сталь 30ХН2МФА используется для стволов калибром до 23мм со средней скорострельностью (до 1500 выстрелов в минуту).

Сталь ОХН3МФА применяется для стволов калибром 30мм и более с высокой скорострельностью (свыше 1500 выстрелов в минуту). Первая буква “О” означает, что эта сталь орудийная.

Для скорострельных систем с целью повышения живучести применяется лейнирование поверхности канала ствола жаропрочными сплавами типа ЭП131 (Х18К60В14Н11) ТУ 14-1-1637-76 и ЭП720 (Х26К30Н28М2В14) ТУ 14-131-330-76 соответственно на кобальтовой и кобальт-никель-хромовой основе.

Химический состав ствольных сталей и сплавов приведен в таблице 1.1., а теплофизические характеристики ствольных сталей и сплавов по РТМ В-907-76 приведены в таблице 1.2.

Следует отметить, что прочность ствольных сталей оценивается в основном категорией прочности. Категория прочности обозначается символами "О", если оценка ведется по пределу пропорциональности ($\sigma_{пц}$) и "КТ", если оценка ведется по пределу текучести ($\sigma_т$ или $\sigma_{0,2}$). Если необходимо обработать сталь на категорию прочности 0-120, то это значит, что нужно выбрать такую температуру отпуска стали, чтобы предел пропорциональности был равен 1200МПа. При обработке стали на категорию прочности КТ-130 надо провести термообработку так, чтобы предел текучести был равен 1300МПа.

Сталь 50РА относится к сталям перлитного класса, а стали типа 30ХН2МФА и ОХН3МФА к сталям полумартенситного и мартенситного классам. Структура сталей после закалки и высокого отпуска - сорбит или высокоотпущенный мартенсит.

Прочность ствольной стали оценивается пределом прочности на растяжение ($\sigma_{вр}$), условным пределом текучести ($\sigma_{0.2}$), пределом пропорциональности (пц). Пластичность оценивается относительным удлинением (δ) и сужением (ψ). Вязкость стали оценивается ударной вязкостью (КС) образцов с острым надрезом (KCV) и с наведенной трещиной (КСТ). Сопротивление разрушению оценивается критическим раскрытием трещины (δ_c). Твердость определяется по диаметру отпечатка. В состоянии поставки твердость измеряется по Бринелю (НВ), а после термообработки - по Роквеллу ($HRC_э$). Существуют специальные шкалы для перевода диаметра отпечатка на твердость по Бринелю или Роквеллу. При диаметре отпечатка равным 3,9мм твердость по Бринелю равна 240, а по Роквеллу — 24 единицы. С увеличением диаметра отпечатка твердость уменьшается, а с уменьшением — увеличивается.

Жаропрочные сплавы типа ЭП131 и ЭП720 являются деформационно-упрочняемыми при холодном и горячем ведении процесса. Механические свойства их после окончательной обработки (деформации и термостабилизации) приближаются к свойствам ствольных сталей. Существенная разница заключается только в значениях твердости, которая достигает до 55 единиц $HRC_э$.

Механические свойства ствольных сталей после термообработки приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.1.

Химический состав ствольных сталей и жаропрочных сплавов (%).

№ п/п	Марка материала	Химический элемент															
		C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Co	Mo	W	Fe	Ti	Ce	V	B	Cu
					не более												
1.	50РА	0,5	0,37	0,76	0,023	0,016	0,27	0,11	—	—	—	ост.	—	—	—	0,002	0,02
2.	30ХН2МФА	0,33	0,26	0,45	0,008	0,010	0,76	2,1	—	0,22	—	ост.	—	—	0,17	—	0,03
3.	ОХН3МФА	0,38	0,27	0,53	0,16	0,012	1,42	3,15	—	0,36	—	ост.	—	—	0,18	—	0,03
4.	ЭП131	0,04	0,4	1,4	0,009	0,005	17,4	11,75	ост.	—	13	0,51	0,1	0,17	—	—	—
5.	ЭП720	0,05	0,5	1,8	0,018	0,014	26	28	ост.	2	14	1,8	0,09	0,16	—	—	—

Таблица 1.2.

Теплофизические характеристики ствольных сталей и сплавов.

№ п/п	Характеристика	Температура испытания, °С	Сталь			Сплав	
			50РА	30ХН2МФА	ОХН3МФА	ЭП131	ЭП720
1.	Удельный вес, г/см³	8	7,8	7,9	7,9	9,25	8,25
2.	Коэффициент линейного расширения, 10^{-6}град$^{-1}$	20-100 100-200 200-300 300-400 400-500 500-600 600-700 700-800	10,6 10,7 11,6 12,2 12,9 13,5 14,1 14,7	11,1 11,7 12,3 12,9 13,3 13,7 14,1 14,5	11,2 11,8 12,3 13,0 13,4 13,8 14,2 14,6	10,7 11,8 12,9 13,3 13,8 14,3 14,8 15,3	10,5 12,0 12,5 12,9 13,3 13,9 14,5 15,1
3.	Коэффициент теплопроводности, кал/см·с·град	20 100 200 300 400 500 600 700 800	0,1051 0,1039 0,1020 0,0984 0,0910 0,0856 0,0819 0,0714 0,0602	0,0848 0,0836 0,0824 0,0807 0,0774 0,0740 0,0702 0,0664 0,0633	0,0841 0,0826 0,0812 0,0790 0,0764 0,0712 0,0702 0.0681 0,0671	0,0291 0,0302 0,0322 0,0393 0,0493 0,0512 0,0542 0,0597 0,0660	0,0264 0,0291 0,0328 0,0372 0,0427 0,0563 0,0593 0,0627 0,0685
4.	Средняя удельная теплоемкость, кал/г·град.	20-100 200 300 400 500 600 700 800	0,103 0,106 0,109 0,112 0,114 0,116 0,118 0,121	0,118 0,121 0,125 0,128 0,135 0,143 0,160 0,166	0,118 0,122 0,128 0,137 0,149 0,166 0,185 0,358	0,102 0,104 0,106 0,108 0,110 0,112 0,114 0,117	0,100 0,102 0,104 0,106 0,108 0,110 0,112 0,114
5.	Модуль нормальной упругости, Е ·10⁴, Мпа.	20-900 20 100	0,123 2,30 —	0,164 2,0 —	0,135 2,0 —	0,119 2,55 2,50	0,116 2,37 2,32
6.	Коэффициент температуропроводности, м²/с.	—	—	—	0,048	0,0415	0,0415
7.	Коэффициент Пуассона.	20 100	0,25 0.26	0,24 0,28	0,25 0,30	— —	— —

Таблица 1.3.

Механические свойства ствольных сталей (после закалки и высокого отпуска)

№ п/п	Марка стали	Механические характеристики								
		$\sigma_{вр}$	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_{пц}$	δ	φ	KCV,	KCT,	δ_c,	$HRC_э$
		МПа			%		МДж/м^2		мм	
1.	50РА	940	820	710	14,2	44,9	1,6	0,81	0,123	24
2.	30ХН2МФА	1020	940	820	12,9	50,9	1,5	0,92	0,192	26
3.	ОХН3МФА	1260	1120	1030	17,7	63,6	1,29	0,9	0,19	35

Ствольные стали выплавляют в мартеновских или электрических печах на металлургических заводах. С целью рафинирования (очистки) стали применяют различные способы переплавов: электрошлаковый, вакуумнодуговой, плазменный и т.д. В этом случае в конце основного обозначения марки стали ставят соответственно "Ш", "ВД", "П".

Сталь разливают в изложницы и получают слитки массой 5, 10, 50 и 100 тонн в зависимости от калибра изготовляемого оружия. Слитки прокатывают на блюмингах в блюмсы, а блюмсы прокатывают на крупно-, средне-, и мелкосортных станах в штанги длиной 4-6 метров диаметром от 20 до 100 мм. По мере необходимости проводится термическая обработка полуфабрикатов.

Полуфабрикат сопровождается основным документом, называемым сертификатом. В нем указываются: завод изготовитель, дата и номер плавки, марка стали, химический состав, механические свойства до и после термообработки, структура материала и особые характеристики. Такой полуфабрикат поступает на машиностроительные предприятия.

1.3. ЗАГОТОВКИ ДЛЯ СТВОЛОВ

На машиностроительных предприятиях полуфабрикат подвергается переделу. Цель передела - изготовление заготовки по конфигурации максимально приближенной к готовой детали с минимальными припусками для обеспечения высокого коэффициента использования металла (КИМ).

К заготовкам предъявляются следующие требования: прямолинейность по длине, концентричность по сечению, ровность базовых поверхностей, минимальные величины обезуглероженного слоя, окалины, облоя, бездефектность структуры и текстуры, отсутствие раковин, пор, неметаллических включений, и т.д.

Существуют следующие методы получения ствольных заготовок:

ковка на молотах;

штамповка на прессах в открытых и закрытых штампах;

высадка на горизонтально-ковочных машинах;
поперечно-винтовая прокатка;
прошивка труб винтовой прокаткой;
центробежное литье.

Ковка и штамповка штучных заготовок являются наиболее старыми и известными методами [2].

Горячая высадка (рис. 1.2,а) казенного торца заготовок на горизонтально-ковочных машинах проводится в следующей последовательности:

разрезка пруткового материала на прессах или ножницах;
нагрев конца, подлежащего высадке (T=1150-1200°C);
высадка в штампе (температура высадки не ниже 950°C) на длину l_1.

Периодический прокат с перепадом диаметров изготавливают на станах поперечно-винтовой прокатки (рис. 1.2,б). В данном случае прокатывают штангу на несколько заготовок длиной l_1.

Наиболее рациональным способом получения высокоточных трубных заготовок является прошивка их на стане винтовой прокатки (рис. 1.3,а) с последующей калибровкой (рис. 1.3,б) [3]. Прошивка толстостенных трубных заготовок длиной до 3м, максимальным наружным диаметром до 100мм и минимальным внутренним диаметром до 15мм проводится на двухвалковых станах винтовой прокатки типа ПВП-120. Для получения замкнутого контура-калибра выходного сечения в зоне максимального диаметра валков с двух сторон располагаются поддерживающие диски, которые вращаются в процессе обработки. Это позволяет обеспечивать устойчивость заготовки при пластической деформации. Перед прошивкой заготовка нагревается до 1100-1200°C, подается в зону обработки и сообщается рабочая подача. В процессе прошивки заготовка вращается и обжимается валками. При этом в центральной части заготовки образуются большие растягивающие напряжения, в результате чего металл разрушается (образуются трещины, пустоты) и за счет этого облегчается прошивка отверстия оправкой. Максимальная скорость прошивки достигается до 50 м/с. В производственных условиях скорость уменьшается в 5-10 раз.

Прошитая трубная заготовка имеет сравнительно низкую точность и качество поверхностей.

С целью получения требуемого размера отверстия, повышения точности и качества поверхности применяют калибровку трубных заготовок винтовым обжатием на оправке (рис. 1.3,б).

При изготовлении трубных заготовок для стволов калибром выше 30мм применяется центробежное литье. Различают горизонтальный и вертикальный способы литья. В нашей стране используется горизонтальный способ литья, когда изложница наклонена под углом к горизонту в 8-10°. После заливки металла изложнице придается вращение со скоростью 100-300 об/мин.

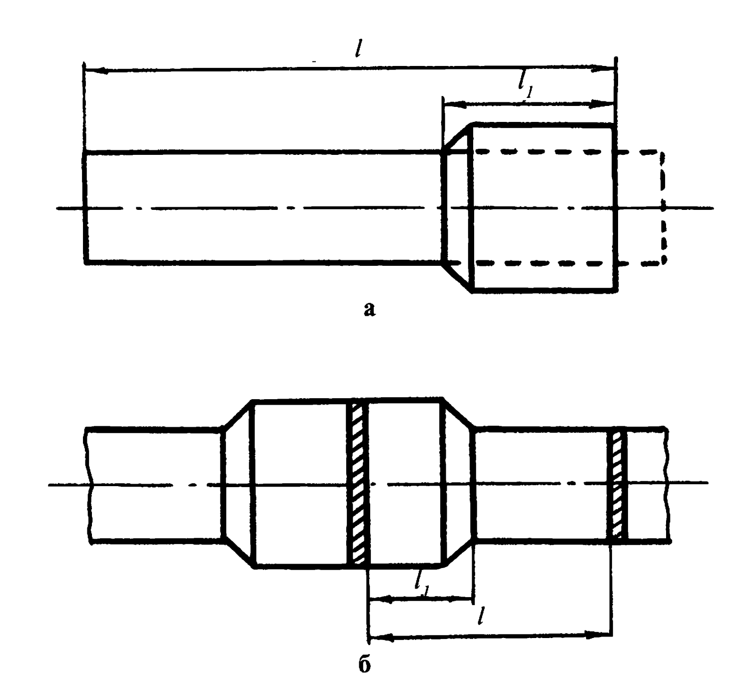


Рис. 1.2. Получение заготовок высадкой из прутка (а) и периодического проката (б)

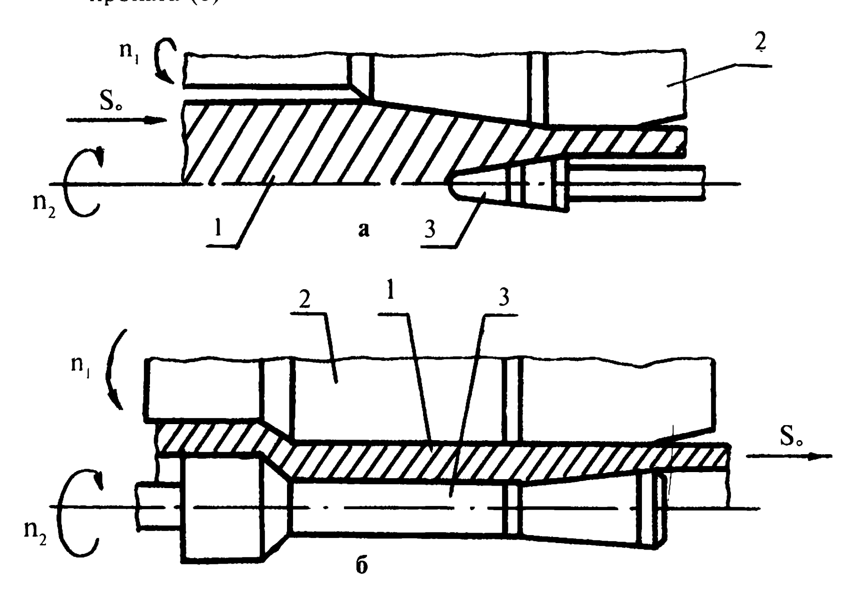


Рис. 1.3. Получение трубных заготовок прошивкой на стане винтовой прокатки (а) и последующей калибровкой (б): 1 - заготовка; 2 - валок; 3 - оправка

2. ГЛУБОКОЕ СВЕРЛЕНИЕ

2.1. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ГЛУБОКОГО СВЕРЛЕНИЯ

Отверстия с отношением длины к диаметру больше десяти (l/d>10) называются глубокими отверстиями.

Глубоким сверлением называется способ сверления, отличающийся наличием принудительного отвода стружки из отверстия потоком смазывающе-охлаждающей жидкости (СОЖ) или какой-то иной рабочей среды и базированием инструмента на поверхность обработанного отверстия.

При сверлении глубоких отверстий имеются следующие особенности:

невозможность наблюдения за процессом обработки;
малая жесткость применяемого сверлильного инструмента;
трудность подвода СОЖ к режущим кромкам и отвода стружки;
необходимость применения специального оборудования и технологической оснастки.

Основной технологической задачей является получение прямого и точного отверстия заданной шероховатости.

2.2. ХАРАКТЕР УВОДА, НЕПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ ОСИ ОТВЕРСТИЯ И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМИ

На операциях глубокого сверления образуются характерные дефекты, проявляющиеся лишь при глубоком сверлении. К ним относятся увод и непрямолинейность оси глубокого отверстия, огранка отверстия и волнистость профиля продольного сечения.

Прежде чем дать определения терминам, определяющим первые два дефекта, применяемым только при обработке глубоких отверстий, рассмотрим три термина, которые могут пояснить сущность терминов “увод оси” и “непрямолинейность оси”.

Теоретическая ось заготовки - прямая, проходящая через центры поперечных сечений базовых поверхностей, расположенных по концам заготовки.

Теоретическая ось глубокого отверстия - прямая, проходящая через центры поперечных сечений глубокого отверстия, проведенных на его концах.

Действительная ось глубокого отверстия - геометрическое место центров поперечных сечений глубокого отверстия по всей его длине.

Непрямолинейность оси глубокого отверстия - наибольшее расстояние от действительной оси до теоретической оси глубокого отверстия.

Увод оси глубокого отверстия (Z) - отклонение действительной оси глубокого отверстия (ось X) от теоретической оси заготовки (ось У). Увод оси может изменяться в любом поперечном сечении по длине детали (рис. 2.1.,а). Различают явный и скрытый уводы.

Явный увод заметен визуально (рис. 2.1.,а). Скрытый же увод визуально не заметен (рис. 2.1.,б,в,г). При установке и вращении детали в центрах радиального биения не наблюдается, хотя есть искривления оси отверстия (рис. 2.1.,г).

Огранка глубокого отверстия - отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой многогранную фигуру с числом граней, иногда изменяющимся по длине отверстия, а вершины многогранника при этом часто располагаются по винтовой линии. Огранка образуется лишь при поперечных колебаниях инструмента с частотой, близкой к частоте относительного вращения заготовки и инструмента.

Волнистость профиля продольного сечения - отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие имеют регулярную волнистость, приводящую к ступенчатости отверстия с незначительными перепадами диаметра. Этот эффект образуется при несовпадении диаметра инструмента, вступающего в работу, с диаметром отверстия, на поверхность которого он опирается своими направляющими элементами.

Кроме рассмотренных выше дефектов формы отверстия и расположения его оси, при обработке глубоких отверстий возникают дефекты, влияющие на качество поверхности: надиры, риски, царапины и повышенная шероховатость поверхности [4].

Существуют следующие методы борьбы с уводом:

увеличивают припуск по наружному и внутреннему диаметрам заготовки;

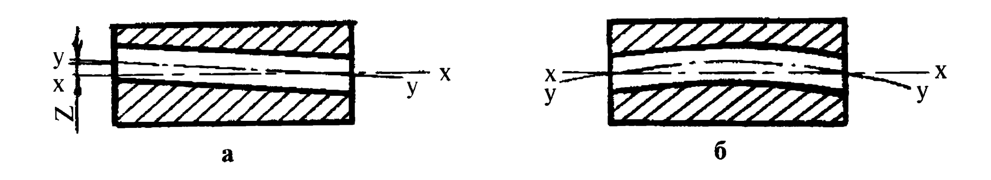
применяют ряд дополнительных правочных операций;

используют специальные методы, виды и схемы глубокого сверления.

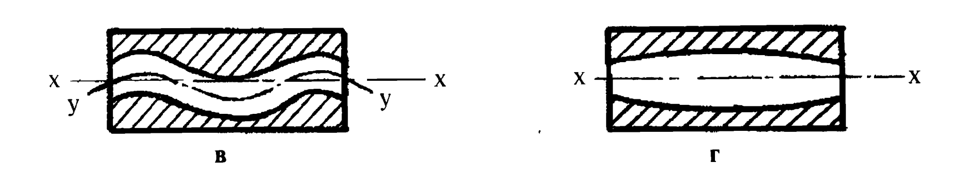
2.3. МЕТОДЫ, ВИДЫ И СХЕМЫ ГЛУБОКОГО СВЕРЛЕНИЯ

Существуют три метода глубокого сверления: сплошное сверление, рассверливание и кольцевое сверление (рис. 2.2.).

При сплошном сверлении в стружку превращается весь металл, подлежащий удалению (рис. 2.2.,а). При этом глубина резания: $t_1 = \frac{d}{2}$.



а б



в г

Рис. 2.1. Характер увода и непрямолинейности оси отверстий: а - явный увод; б, в, г - скрытый увод.

d

а

d_1 d_2

б

d_1 d_2

в

Рис. 2.2. Методы сверления: сплошное (а), рассверливание (б) и кольцевое (в).

При рассверливании в стружку превращается часть высверливаемого металла (рис. 2.2.,б). Глубина резания: $t_1 = \frac{d_2 - d_1}{2}$. Рассверливание применяется для трубных заготовок.

При кольцевом сверлении в стружку превращается часть высверливаемого кольцевого пояса в заготовке (рис. 2.2.,в). Глубина резания: $t_3 = \frac{d_2 - d_1}{2}$. Этот метод применяется для отверстий диаметром свыше 30 мм. Образующийся центральный стержень может быть использован для изготовления других деталей.

Различают два вида глубокого сверления: одностороннее и двустороннее (рис. 2.3.)

Одностороннее сверление применяется для получения отверстий с отношением $l/d < 50$ (рис. 2.3.,а).

Двустороннее - для отверстий с соотношением $l/d > 50$ (рис. 2.3.,б). Преимуществом двустороннего сверления является высокая производительность за счет сокращения вдвое длины сверления и ведения процесса двумя одновременно работающими инструментами. Недостатком - наличие уступов в зоне встречи инструментов.

Существуют четыре схемы глубокого сверления, определяемые кинематикой оборудования (рис. 2.4.):

детали сообщается вращательное движение, а инструменту поступательное (рис. 2.4.,а);

деталь неподвижна, а инструменту сообщается вращательное и поступательное движение (рис. 2.4.,б);

детали сообщается вращательное движение, а инструменту поступательное и вращательное в сторону, противоположную вращению заготовки (рис. 2.4.,в);

детали сообщается вращательное и поступательное движение, а инструмент не подвижен (рис. 2.4.,г).

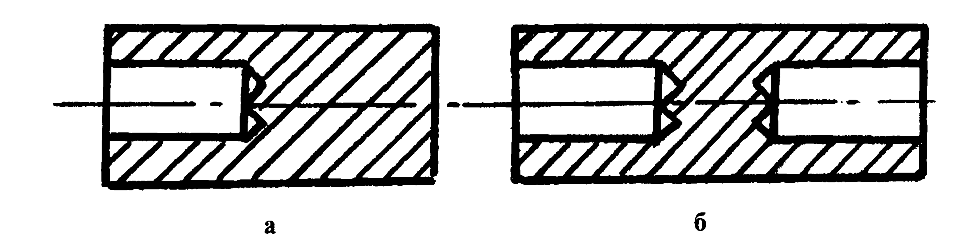


Рис. 2.3. Виды сверления: одностороннее (а) и двухстороннее (б)

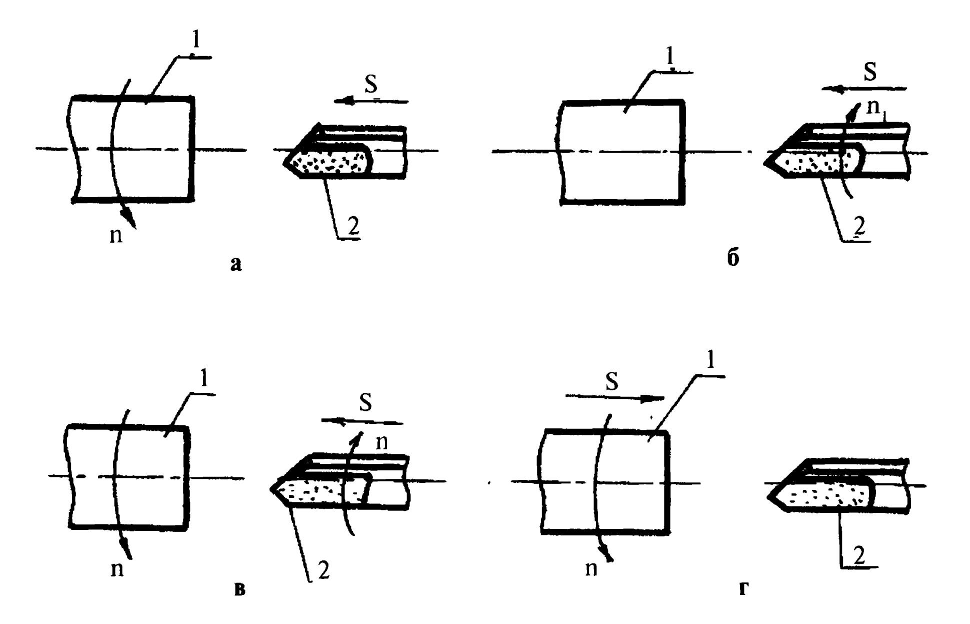


Рис. 2.4. Схемы глубокого сверления: 1 - деталь, 2 - инструмент

2.4. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГЛУБОКОГО СВЕРЛЕНИЯ

Станки для глубокого сверления отличаются от других станков следующими особенностями.

1. Станки в цехах занимают большие площади, проектируются, как правило, в горизонтальном положении и имеют длину, превышающую не менее чем вдвое протяженность обрабатываемых заготовок, для которых они созданы. В вертикальном исполнении конструируются только станки для коротких заготовок и малых диаметров сверления.

2. В компоновке станков большое место занимают устройства для транспортировки стружки из зоны резания, смазки и охлаждении сверл. В циркуляционную систему входят насосная установка, магистраль подвода охлаждающей жидкости к зоне резания, стружкоотвод, стружкосборники, сливные бачки с отстойниками, магнитные или иные улавливатели (фильтры) твердых частиц из жидкости и ее охладители, защитные устройства от разбрызгивания и утечки жидкости.

3. Почти все модели станков для глубокого сверления могут быть применены и для глубокого развертывания (растачивания).

Станки для глубокого сверления должны обеспечивать следующие требования:

1) удобную и быструю установку и снятие обрабатываемых заготовок;

2) требуемые режимы обработки;

3) непрерывный отвод стружки из зоны резания;

4) фильтрацию и охлаждение рабочей жидкости;

5) требуемую точность обработки;

6) непрерывный контроль за ходом процесса с автоматически-ми действующими защитными устройствами;

7) автоматизацию цикла работы.

Станки классифицируются по следующим признакам: расположению шпинделей, характеру движения детали и инструмента, приводам главного и вспомогательного движений, степени автоматизации.

Все станки для глубокого сверления можно разделить на следующие группы:

станки токарного типа;

станки вертлюжного типа;

станки без вращения заготовки.

У станков токарного типа бабка аналогична передней бабке токарного станка. Полый шпиндель рассчитан на быстрое вращение обрабатываемой заготовки. Заготовка устанавливается одним (выходным) концом в патроне, закрепленным на рабочем конце шпинделя, а другим (входным) концом либо маслоприемником, если обработка производится с внутренним отводом стружки, либо люнетом при наружном отводе стружки.

В станках вертлюжного типа заготовка средней частью устанавливается внутри полого шпинделя, называемого вертлюгом. Вертлюг по сравнению со шпинделем сверлильного станка токарного типа имеет большие поперечные размеры и располагается в средней части станины станка. Поэтому конструкция вертлюга не рассчитана на быстрое вращение заготовки в процессе обработки. Концы ствольной заготовки устанавливаются в люнетах.

Станки без вращения заготовки встречаются значительно реже, чем первые две разновидности станков. Они применяются для сверления деталей, требующих сверления глубоких отверстий без вращения заготовки и для сверления нескольких параллельно расположенных глубоких отверстий.

Классификация станков для глубокого сверления представлена на рис. 2.5.

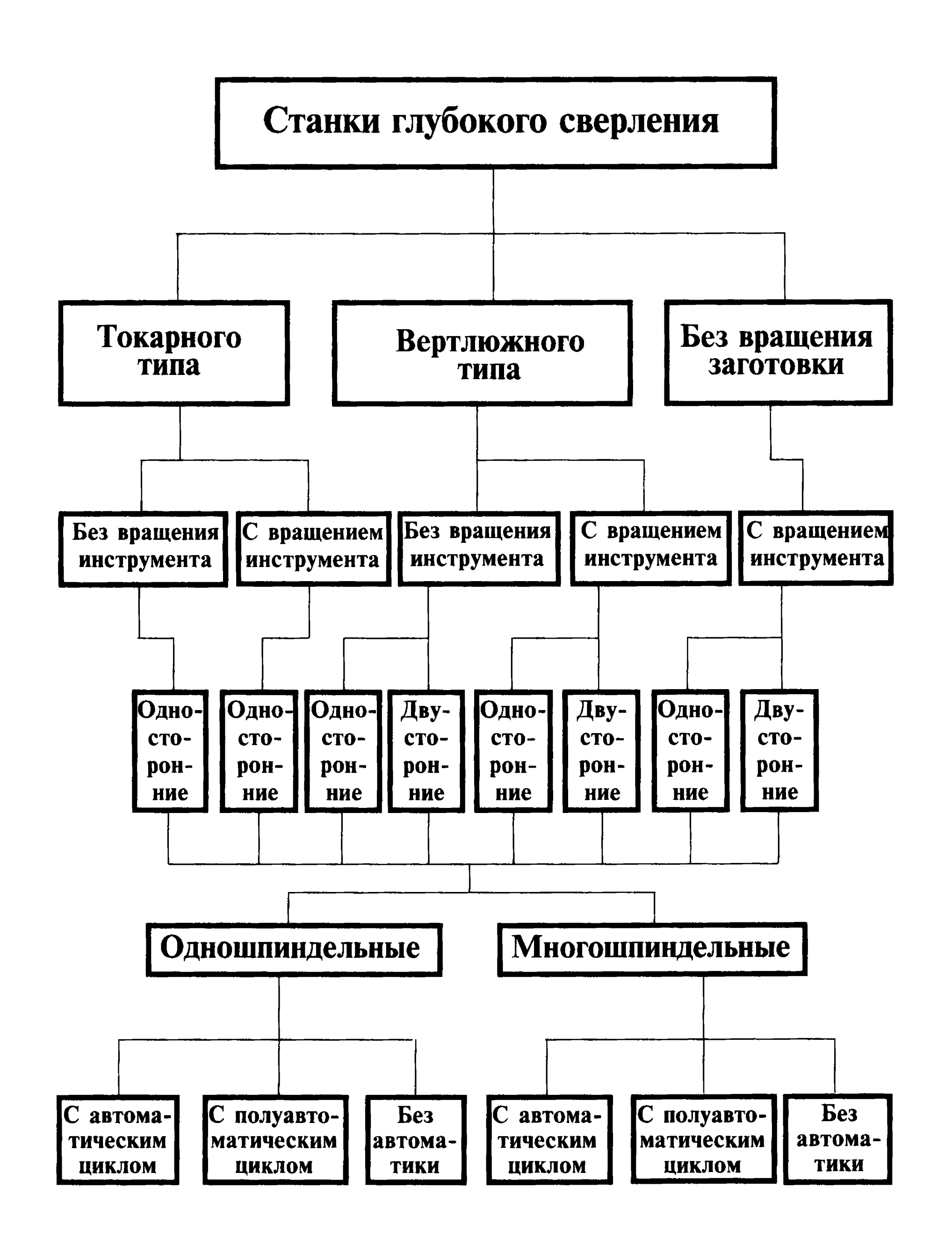


Рис. 2.5. Классификация станков для глубокого сверления.

Для глубокого сверления отверстия диаметром до 10 мм. применяется горизонтальный двухшпиндельный станок модели 150 ГСБМ.

Технические характеристики станка 150 ГСБМ:

Наибольший диаметр сверления, мм........................ 10
Наибольшая длина сверления, мм.............................. 850
Высота сверления, мм.. 85
Пределы чисел оборотов деталей, об/мин.................. 1100 - 5500
Пределы рабочих подач инструментальной
каретки, об/мин... 0,012 - 0,05
Скорость быстрого хода инструментальной
каретки, м/мин... 6
Мощность электродвигателя привода главного
движения, кВт.. 2,2
Суммарная мощность электродвигателей, кВт.......... 14
Максимальное давление охлаждающей
жидкости, МПа... 10
Габаритные размеры станка, мм............................... 3500x675x1210
Масса станка, кг.. 2000

Станок снабжен вибратором для вибрационного сверления, с полуавтоматическим циклом работы.

Для сверления глубоких отверстий диаметром от 10 до 25 мм применяются горизонтальные двухшпиндельные станки с полуавтоматическим циклом работы моделей 350 ИГСА и 350 ИГСБ.

Технические характеристики станка 350 ИГСА:

Пределы диаметров обрабатываемых
отверстий, мм.. 10 - 25
Пределы длин обрабатываемых деталей, мм.............. 400 - 1250
Наибольший наружный диаметр обрабатываемых
деталей, мм... 70
Пределы чисел оборотов шпинделя, об/мин............. 800 - 400
Пределы подач, мм/мин... 19 - 203
Скорость быстрых перемещений, м/мин.................. 7
Высота центров нижнего шпинделя, мм.................. 1050
Высота центров верхнего шпинделя, мм.................. 1350
Число электродвигателей главного движения........... 2
Мощность электродвигателя, кВт............................ 5,5
Число электродвигателей подач............................... 2
Мощность, кВт.. 1,6
Габаритные размеры станка мм............................... 6560x1270x1810
Масса станка, кг... 6000

Станок 350 ИГСБМ отличается меньшей длиной обрабатываемых деталей до 800 мм, а следовательно он несколько меньших размеров.

Для сверления (растачивания) отверстий диаметром до 100 мм применяются одношпиндельные горизонтальные сверлильно-расточные станки с программным управлением моделей типа РТ 601 (РТ 60123 и РТ 60124).

Технические характеристики станка РТ 601:

Максимальный диаметр сверления, мм...................... 100
Максимальная длина сверления, мм.......................... 2500
Высота центров, мм.. 315
Число ступеней оборотов бабки изделия.................... 12
Пределы чисел оборотов шпинделя, об/мин.............. 50 - 630
Пределы чисел оборотов шпинделя бабки
стебля, об/мин... 100 - 630
Число ступеней оборотов бабки стебля...................... 9
Подача стеблевой бабки, мм/мин................................ 5 - 3000
Габаритные размеры станка,мм.............................. 11700x2500x1550
Масса станка, кг.. 17415

Используются также станки зарубежных фирм “Bosh”, “VDF” и “Nagel”.

2.5. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ СВЕРЛЕНИЯ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

К инструменту предъявляются следующие требования:

1) обладать необходимой жесткостью;
2) обеспечивать непрерывность процесса резания, подвода СОЖ и отвода стружки;
3) уменьшать увод;
4) обеспечивать высокую производительность;
5) быть простым в изготовлении и надежным в эксплуатации.

Существующие сверла для обработки глубоких отверстий подразделяются на три группы:

1) сверла для сплошного сверления;
2) сверла (зенкеры) для рассверливания (зенкерования);
3) сверла для кольцевого сверления.

Эти инструменты подразделяются на две группы по способу их базирования во время сверления [5].

Базирование инструмента при глубоком сверлении весьма существенно, так как сверло в этом случае может иметь опору только на поверхность отверстия, которое оно само образует. Причем по отношению к сверлу базирование может быть определенным (постоянным) или может периодически меняться. При определенном базировании, силы сопротивления, возникающие во время сверления в поперечной плоскости сверла, действуют все время в одном

направлении по отношению к сверлу, как бы прижимая его к стенке отверстия. При неопределенном базировании эти силы либо отсутствуют вообще, либо меняют в работе свое направление относительно инструмента и сверло при работе может свободно раскачиваться.

В соответствии с загрузкой режущих кромок сверла можно разделить на две группы. При этом различают метод деления ширины реза (метод деления глубины резания) и метод деления толщины реза (метод деления подачи).

В первом случае резцы устанавливаются на разных уровнях (плоскостях) по оси инструмента, а во втором - на одном уровне.

Следующим признаком классификации сверл является способ отвода стружки из зоны резания: внутренний или наружный. Оба эти способа имеют свои положительные и отрицательные стороны. Наиболее распространенным является внутренний отвод стружки, несмотря на то, что осуществление его довольно сложно - требуется маслоприемник. Этот способ обеспечивает высокое качество просверленных отверстий, так как отходящая стружка не царапает поверхности отверстия и не заклинивается между направляющими инструмента и заготовкой.

В процессе резания на сверло действуют следующие силы (рис. 2.6.).

1. Силы сопротивления резанию, приложенные к режущим кромкам сверла, к ним относятся:

1) сила сопротивления резанию, равная P_z и действующая параллельно скорости резания V_c и в том же направлении;

2) сила сопротивления подаче, равная P_x, направленная параллельно оси сверла в сторону, обратную подаче;

3) сила P_y, действующая в плоскости перпендикулярной оси сверла. Обычно сила P_y, которую называют радиально составляющей силы сопротивления резанию, действует по радиусу сверла от периферийных (главных) режущих кромок.

2. Силы трения на базовых направляющих сверла. Они могут быть также разложены на составляющие, действующие на сверло в плоскостях, перпендикулярных (F_{τ_i}) и параллельных (F_{0_i}) оси сверла. Силы F_{τ_i} направлены в сторону вращения заготовки, силы F_{0i} - в обратную сторону подачи инструмента.

3. Центробежные силы инерции $P_{ц_i}$, действующие на сверло, если сверление производится при быстром вращении плохо уравновешенного сверла со стеблем. Практически плохое уравновешение сверла со стеблем может быть только у ружейных сверл. Однако этими сверлами в большинстве случаев производят работу без вращения стебля, а поэтому силой $P_{ц_i}$ можно пренебречь.

4. Силы массы стебля и сверла $G_с$ (на рисунке не показаны). Эти силы приложены к центру тяжести стебля со сверлом. Так как величина $G_с$ в большинстве случаев значительно меньше, чем силы сопротивления сверлению, то ею можно тоже пренебречь.

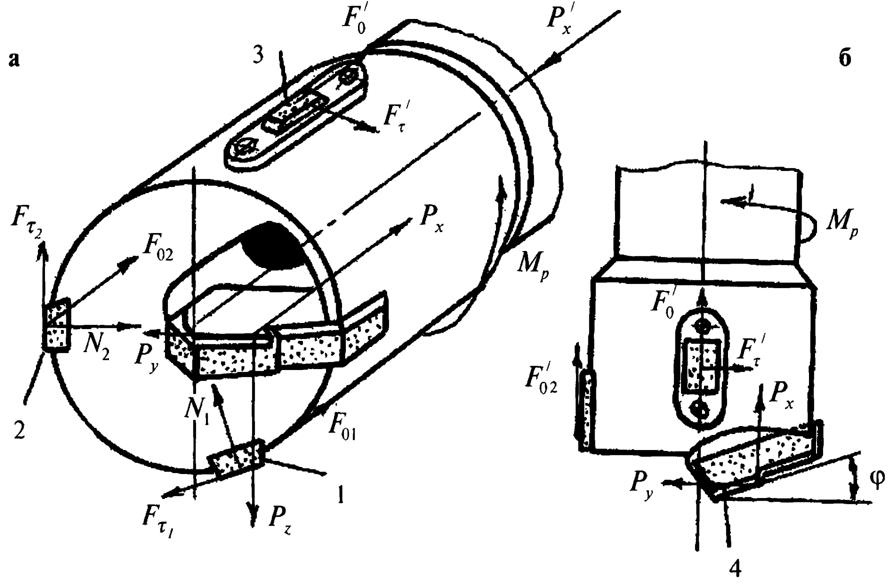


Рис. 2.6. Схема действия сил на сверло
1, 2 - базовые направляющие элементы (шпонки)
3 - упругая направляющая, 4 - режущая пластина

Все перечисленные выше силы воспринимаются стеблем в виде момента резания M_p и силы подачи P_x', а также поверхностью просверливаемого отверстия, на которое базируется сверло при сверлении.

Самым простым и поэтому самым распространенным в промышленности является сверло одностороннего резания с наружным или внутренним отводом стружки. Установлено, что в процессе эксплуатации происходит неравномерный износ базовых направляющих элементов (шпонок). Наибольшему износу подвергается направляющая шпонка, расположенная под режущей кромкой сверла. Направляющая шпонка, расположенная на одном диаметре с режущей кромкой, пригара и растрескивания почти никогда не имела и изнашивалась значительно медленнее нижней направляющей шпонки.

На основании этих наблюдений было проведено усовершенствование связи одностороннего резания. Вначале необходимо было заставить работать обе базовые направляющие с одинаковой на-

грузкой. Для этого следовало равнодействующую силу R_Σ, действующую на сверло перпендикулярно его оси (рис. 2.7.) и воспринимаемую поверхностью просверленного отверстия через базовые направляющие шпонки, расположить по биссектрисе центрального угла между базовыми направляющими элементами.

На рис. 2.7. представлена схема действия сил на сверло в плоскости, перпендикулярной оси однокромочного сверла в предположении, что действие силы R_Σ направлено по биссектрисе центрального угла Ψ.

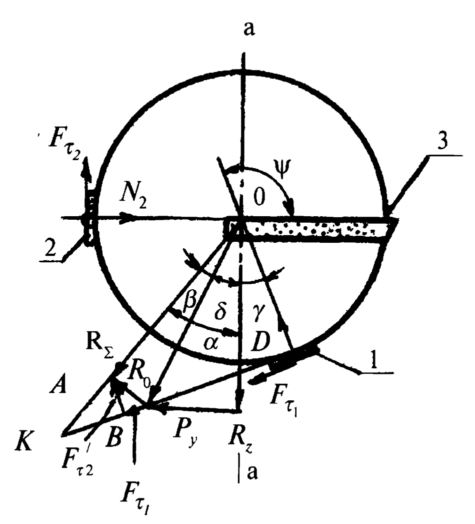


Рис. 2.7. Схема действия сил на сверло одностороннего резания в плоскости, перпендикулярной его оси 1, 2 - направляющие элементы, 3 - резец

На схеме приняты следующие обозначения:

R_0 - суммарная сила сопротивлению резания ($\bar{R}_0=\bar{P}_z + \bar{P}_y$);

R_Σ - полная суммарная сила, действующая на сверло в плоскости, перпендикулярной оси сверла ($\bar{R}_z=\bar{R}_0 + \bar{F}_{\tau_1} + \bar{F}_{\tau_2}$);

Ψ - угол между базовыми направляющими 1 и 2;

γ - отклонения направляющей 1 от вертикали аа;

3 - режущая кромка сверла, перпендикулярная вертикали аа;

α - угол между вертикалью аа и силой R_Σ;

δ - угол между вертикалью аа и силой R_0;

β - угол между силами R_z и R_0.

Базовая направляющая шпонка 2 должна быть расположена на одном диаметре и в одной плоскости с режущей кромкой 3 сверла, так как в противном случае в производственных условиях замерить диаметр сверла будет трудно.

Полная суммарная сила:

$$R_\Sigma = 2N_1 \cos\frac{\Psi}{2} = 2N_2 \cos\frac{\Psi}{2};$$

где N_1 и N_2 - нормальное давление от силы R_Σ на направляющие шпонки.

Силы трения, действующие на направляющих шпонках:

$$F_{\tau_1} = F_{\tau_2} = \frac{\mu \cdot R_\Sigma}{2\cos\frac{\Psi}{2}}, \qquad (2.1)$$

где μ - коэффициент трения между направляющими шпонками и поверхностью просверленного отверстия.

Анализ формул показывает, что R_Σ, как правило не направлена по биссектрисе угла Ψ, и поэтому отмеченный на практике неравномерный износ направляющих шпонок является хотя и нежелательным, но закономерным. Действительно, угол между силами R_0 и R_Σ:

$$\beta = \frac{\Psi}{2} - (\delta + \gamma) \qquad (2.2)$$

Установлено, что угол Ψ должен быть равным 120°, а угол γ равен 20°

Из рис. 2.7. видно, что:

$$\delta = arctg\frac{P_y}{P_z}.$$

Угол δ зависит от угла при вершине сверла 2φ (рис. 2.6.,б), который обычно принимается в следующих пределах:

$$110° \leq 2\varphi \leq 170°$$

Поэтому при сверлении всегда существует следующее неравенство:

$$P_z > P_x > P_y; \quad P_y = P_x\, ctg\varphi \qquad (2.3)$$

Из формулы (2.3) видно, что чем больше угол φ, тем меньше сила P_y. Обычно при сверлении величина отклонения радиальной составляющей силы P_y к P_z не превышает 0,2 - 0,25, откуда $\delta = (11\text{-}14)°$.

Подставляя полученные значения углов γ и δ в формулу (2.1), получаем $\beta = 22{,}5°$.

Однако, рассматривая треугольники АОВ, САВ и ОДК, можно установить, что угол АОВ = 90°, а угол β является углом трения, так как:

$$AB = R_\Sigma\, tg\beta,$$

а из треугольника CAB:

$$AB = 2F_{\tau_l}\cos\frac{\psi}{2}.$$

Учитывая формулу (1.1), получаем:

$$\mu = tg\beta,$$

откуда

$$R_\Sigma = R_0\cos\beta = \sqrt{P_z^2+P_y^2}\cos\beta = \frac{R_0}{\sqrt{1+\mu^2}}. \qquad (2.4)$$

Выражая в формуле (1.2) угол β через коэффициент трения μ определяем соотношение составляющих P_y и P_z :

$$arctg\mu = 0{,}96 - \left(arctg\frac{P_y}{P_z} + 0{,}35\right).$$

Обычно коэффициент трения направляющих сверла по материалу заготовки стремится к величине $\mu = 0{,}1$. В этом случае отношение составляющих:

$$\frac{P_y}{P_z} = 0{,}51 \qquad (2.5)$$

а угол трения β равен не 22,5°, а 5 - 6°.

Приведенный расчет показывает, что при обычных условиях сверления невозможно достичь отношения, равного 0,51. Поэтому сверла одностороннего резания практически всегда будут иметь неравномерный износ направляющих элементов.

В зависимости от размеров обрабатываемых отверстий, принципов сверления, характера подвода СОЖ и отвода стружки применяются различные конструкции сверл для глубокого сверления: шнековые, ружейные, со сменными резцами, с "М" - образной заточкой, многорезцовые сверлильные головки и головки для кольцевого сверления (корончатые сверлильные головки). Такое многообразие инструментов в литературе хорошо освещено [4-7].

Для обработки отверстий диаметром до 10мм и с отношением $l/d < 20$ применяются шнековые сверла с внутренним подводом СОЖ и наружным отводом стружки. Эти сверла являются сверлами двустороннего резания (две режущие кромки). Они представляют собой разновидность спиральных сверл. Разница заключается в том, что угол наклона стружкоотводящих винтовых канавок находится в пределах 45 - 60° (у обычных 18 - 20°). Для подвода СОЖ имеются два спиральных отверстия, имеющих выходы на каждую режущую кромку [7]. Своеобразная форма сердцевины, специальная заточка

стружколомов по передней грани режущих кромок и винтовая канавка с большим углом способствуют к увеличению жесткости сверла, дроблению стружки и надежному отводу ее из зоны резания. Сверла изготавливаются из быстрорежущей стали типа Р6М5 и термически обрабатываются до $HRC_э$ = 55 - 60. Они применяются при скорости резания 8 - 35 м/мин, подачах 0,06 - 0,022 мм/об; обеспечивают точность отверстий по 12 квалитету, а шероховатость поверхности 20-40 мкм. Серийный выпуск шнековых сверл проводится по ТУ 2-035-157-75.

Однако шнековые сверла имеют существенный недостаток - повышенную величину увода из-за невозможности обеспечения равномерного усилия резания на режущих кромках инструмента.

Для обработки отверстий диаметром до 20 мм и с отношением l/d до 100 и более применяются ружейные сверла (рис. 2.8.). Эти сверла одностороннего резания с внутренним подводом СОЖ и наружным отводом стружки.

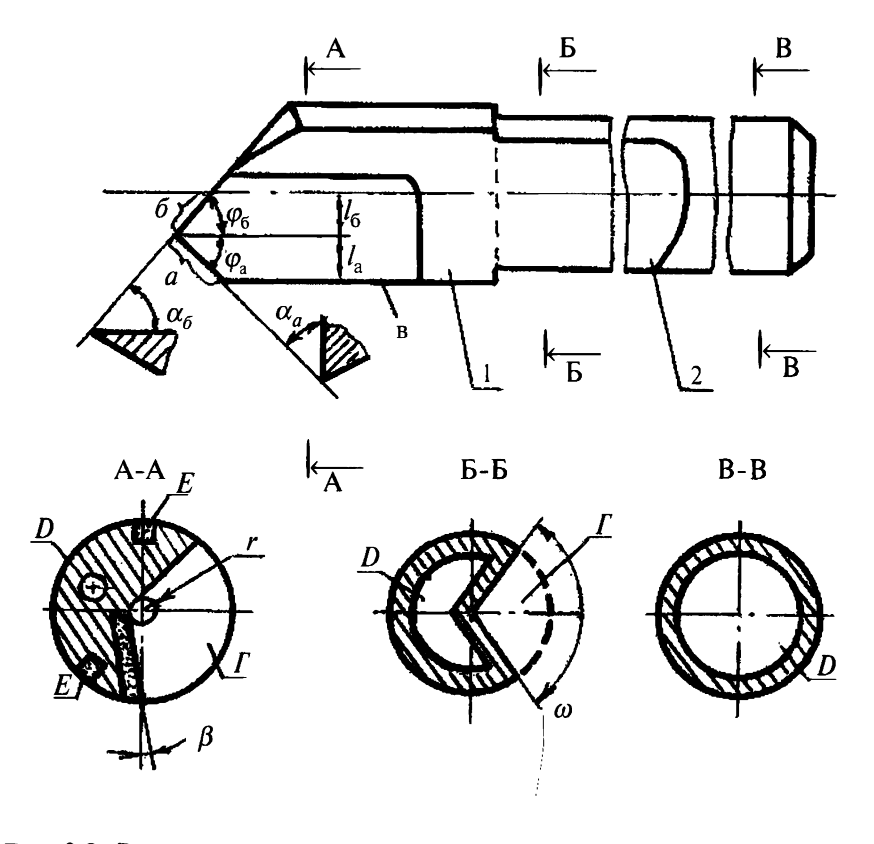


Рис. 2.8. Ружейное сверло:
1 - рабочая часть (колосок), 2 - стебель (цевка)

Ружейное сверло состоит из двух частей: рабочей части 1(колоска) и стебля 2 (цевки), которые соединяются между собой при помощи стыковой сварки.

Рабочая часть имеет:

а - главную (периферийную) режущую кромку;

б - вспомогательную (центральную) режущую кромку;

в - калибрующую кромку.

Задний угол главной режущей кромки α_a затачивается переменным, как у спирального сверла, и эта кромка работает как кромка спирального сверла.

Задний угол вспомогательной кромки $\alpha_б$ затачивается постоянным, как у проходного резца (5-8°) и эта кромка работает как кромка проходного резца.

Углы при вершине $\varphi_а = \varphi_б = 60°$.

Передняя плоскость сверла имеет понижение от периферии к центру под углом β. Это необходимо для устранения нулевой скорости резания. При обработке образуется центральный (нулевой) стержень радиусом r.

Угол желоба "Г" сверла ω равен 120°. Увеличение угла нецелесообразно, так как не обеспечивается жесткость инструмента.

Уменьшение угла также нецелесообразно, так как не обеспечивается надежный отвод стружки по причине закупоривания стружкоотводного пространства.

Полость "Д" служит для подвода СОЖ к режущим кромкам инструмента.

Для обычного (нескоростного) резания рабочая часть изготавливается из быстрорежущей стали типа Р6М5 и термически обрабатывается до твердости $HRC_э$ = 55 - 60.

Для скоростного резания рабочая часть изготавливается из конструкционной стали 45 или 50 и припаивается медью или латунью твердосплавная пластинка из Т5К10, Т15К6.

Направляющие шпонки "Е" изготавливаются также из твердого сплава типа ВК8.

Стебель изготавливается из конструкционной стали 45 с твердостью $HRC_э$ = 40 - 45.

Для обработки отверстий диаметром 15-30мм применяются сверла одностороннего резания с наружным подводом СОЖ и внутренним отводом стружки (рис. 2.9.).

Сверло состоит из двух частей: рабочей 1 и хвостовика 2. Главная режущая кромка рабочей части расположена под углом α=30° и имеет стружкоделительные канавки, выполненные по задней грани.

Хвостовик имеет две гладкие посадочные поверхности "а" и "б" для установки и центрирования инструмента на стебле станка и поверхность "в", выполненную в виде специальной ленточной,

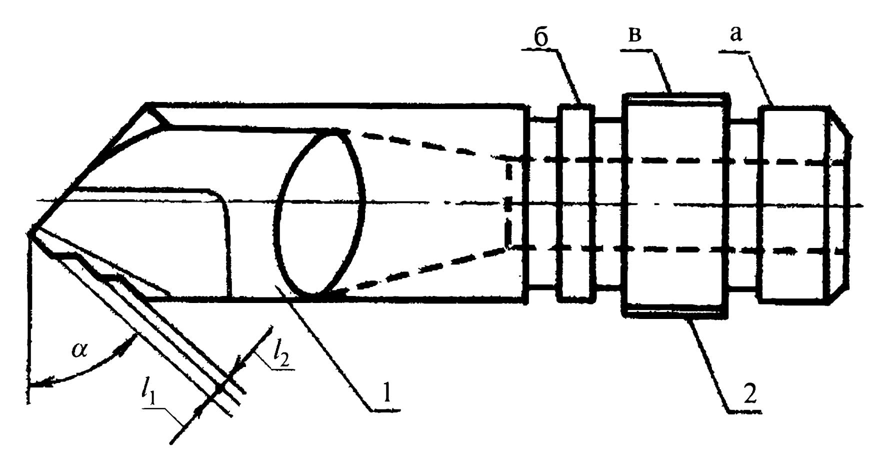


Рис. 2.9. Сверло одностороннего резания с внутренним отводом стружки

многозаходной резьбы для крепления инструмента на стебле станка и быстрой его смены.

В дальнейшем это сверло претерпело значительные изменения (рис. 2.10.):

1) вместо напайки твердосплавной пластины введен сменный резец с круглым хвостовиком;
2) резец армирован твердым сплавом и его ось расположена относительно оси сверла под углом 10°;
3) изменена форма режущих кромок: вместо торцевых уступов применен центральный выступ - "носик" (а//).

В корпусе 1 устанавливается резец 2, который по мере износа может легко заменяться. Главная режущая кромка разделена на две части: а/ и а//. Имеется вспомогательная кромка "б". Плоскость "носика" перпендикулярна оси инструмента.

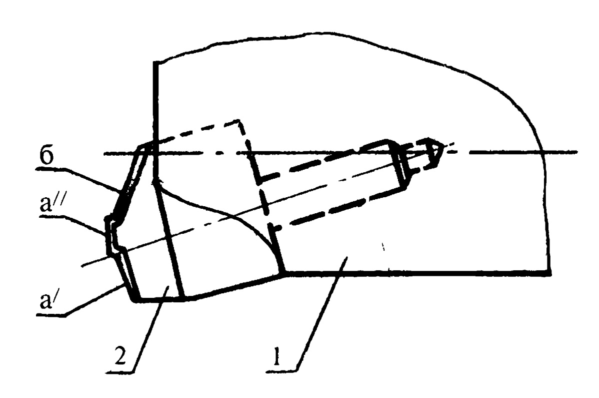


Рис. 2.10. Однорезцовое сверло со сменным резцом: 1 - корпус, 2 - резец

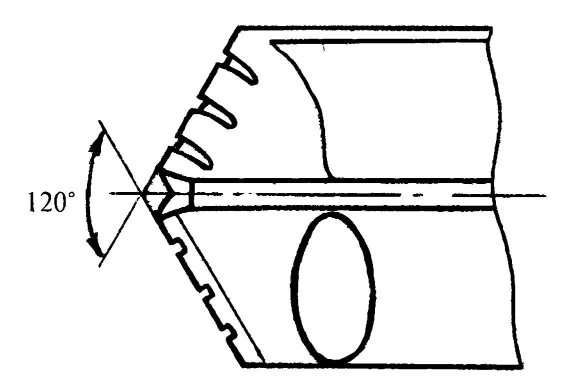


Рис. 2.11. Сверло многостороннего резания с "М"-образной заточкой

Для обработки отверстий диаметром до 50 мм применяются сверла двустороннего (многостороннего) резания с "М"-образной заточкой (рис. 2.11.), не имеющие определенного базирования и работающие по методу деления подачи. Такая заточка режущих кромок при вершине под углом 120° позволяет обеспечить более надежное направление сверла в процессе обработки, а следовательно - уменьшить увод. Сверло имеет стружкоделительные канавки, выполненные по задним граням.

Для обработки отверстий диаметром более 50 мм применяются многорезцовые сверлильные головки также не имеющие определенности базирования (рис. 2.12.). Резцы 1 и направляющие шпонки 2 располагаются в корпусе головки 3. Отвод стружки осуществляется в полости 4. Резцы в головке располагаются таким образом, чтобы они делили всю ширину среза на определенное количество частей. На каждую часть приходится один резец.

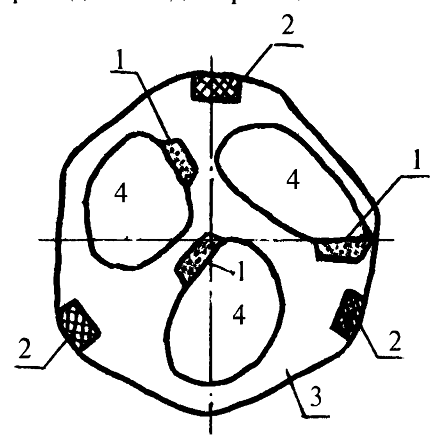


Рис. 2.12. Многорезцовая сверлильная головка: 1- резец, 2 - направляющие, 3 - корпус, 4 - полость для отвода стружки

Для обработки отверстий диаметром свыше 30 мм применяются одно-, двух- и многорезцовые кольцевые (корончатые) сверлильные головки (рис. 2.13.). Кольцевая головка представляет собой пустотелый цилиндрический корпус 1, на торце которого располагаются резцы 2. Применяются в основном головки для скоростного резания, оснащенные твердосплавными режущими и направляющими элементами. Головки различаются способом отвода стружки, числом режущих лезвий, а также числом жестких неподвижных направляющих и их угловым расположением относительно друг друга и режущего лезвия.

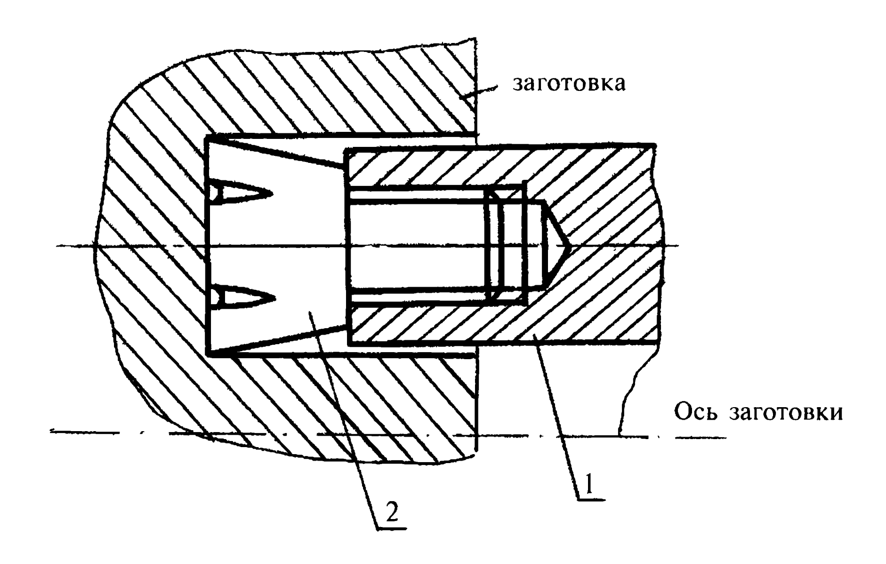


Рис. 2.13. Корончатая сверлильная головка для кольцевого сверления: 1 - корпус, 2 - резец

По конструкции и принципу работы корончатые сверлильные головки делятся на два типа:

а) по принципу деления подач;

б) по принципу деления глубины резания.

В первом типе головок резцы устанавливаются в разных плоскостях друг за другом, перпендикулярных к оси инструмента и каждый резец снимает определенную ширину стружки. Установлено, что производительность первого типа головок выше, чем второго.

2.6. СМАЗЫВАЮЩЕ-ОХЛАЖДАЮЩИЕ ЖИДКОСТИ, ИХ ПОДВОД И ОТВОД

На операции глубокого сверления СОЖ должна выполнять ряд функций: отводить стружку из зоны резания и транспортировать ее по отводным каналам, уменьшать силы резания и трения между направляющими элементами и поверхностью отверстия, отводить тепло, образующееся в процессе резания и трения. Для этого СОЖ должна иметь соответствующие свойства.

Отвод стружки надежно обеспечивается в том случае, когда поток СОЖ будет иметь такую максимально необходимую скорость, при которой кинетическая энергия потока будет достаточна для сообщения стружке движения вдоль отводных каналов. Минимально необходимая скорость СОЖ и выбранная площадь поперечных сечений отводных каналов для стружки и СОЖ определяют минимально необходимый расход СОЖ. В свою очередь по расходу СОЖ и ее вязкости можно определить (при выбранной площади и форме каналов и их протяженности) давление СОЖ и мощность, затрачиваемую на прокачивание СОЖ по каналам подвода-отвода, по формуле:

$$N_0 = 10^3 \cdot p \cdot Q\ ,$$

где N_0 - мощность, затрачиваемая на прокачивание СОЖ, кВт;
p - давление подаваемой насосом СОЖ, МПа;
Q - расход СОЖ, м^3/с.

На операции глубокого сверления в зависимости от диаметра и длины обрабатываемого отверстия расход СОЖ обычно составляет 0,001 - 0,009 м^3/с при p = 0,5 - 10 МПа. Это значит, что для указанных диапазонов p и Q затраты мощности на прокачивание СОЖ могут составлять 6-10 кВт и в ряде случаев превышать затраты мощности на резание, поэтому снижение затрат мощности на подвод СОЖ и отвод стружки очень важно. Одним из путей снижения затрат мощности на подвод стружки является применение маловязких СОЖ, что положительно сказывается также на ее очистке (фильтрации) и снижении ее потерь в виде отходов вместе со стружкой. В целях снижения энергетических затрат можно рекомендовать поддерживать температуру циркулирующей СОЖ от 15 до 50° С.

Успешному отводу стружки и продуктов изнашивания инструмента способствуют хорошие моющие свойства СОЖ (т.е. способность ее смачивать частицы стружки и частицы износа, препятствовать слипанию и привариванию их к поверхности инструмента и обрабатываемой заготовки).

Уменьшение сил резания и трения достигается за счет использования смазывающих свойств СОЖ, а также свойства способствовать резанию, обусловленного эффектом П. А. Ребиндера. Эти свойства создаются за счет добавления в СОЖ соответствующих приса-

док и поверхностно-активных веществ. В отечественной и зарубежной практике в качестве присадок используются сера, хлор, фосфор.

Отвод тепла при глубоком сверлении с помощью СОЖ решается попутно, наряду с главным назначении СОЖ - отводом стружки. Отвод тепла производится путем конвективного теплообмена между нагретыми поверхностями заготовки и инструмента и потоком СОЖ. Интенсивность отвода тепла в значительной степени зависит от теплопроводности СОЖ, ее расхода и скорости перемещения, разности температур охлаждаемых поверхностей и потока СОЖ.

При глубоком сверлении (развертывании, растачивании, протягивании) в отечественной и зарубежной практике в основном применяются масляные СОЖ и реже - водные эмульсии минеральных масел. Эмульсии имеют лучшие охлаждающие свойства в сравнении с масляными СОЖ, однако они не допускают попадания масла из системы смазки станка, менее стойки при хранении, легко поражаются микроорганизмами и теряют свои эксплуатационные свойства.

Масляные СОЖ широко применяются при обработке глубоких отверстий. До последнего времени при обработке применялся сульфофрезол (ГОСТ 122-54) - осерненное минеральное масло коричневого цвета, состоит из веретенного масла с добавлением нигрола (до 20 %) и серы в свободном состоянии и в виде химического соединения (не менее 1,7 %). Для снижения вязкости добавляется керосин (до 10 %) или дизельное топливо, что практически не снижает температуру вспышки. Недостатком сульфофрезола является токсичность. Применение сульфофрезола ограничивается органами здравоохранения России.

В настоящее время выпускаются новые, более эффективные СОЖ. Основные из них:

МР-3 (ТУ 38 УССР 201254-76) - светло-коричневое, маловязкое минеральное масло, содержащее жиры, примеси серы и фосфора; применяется при обработке глубоких отверстий в легированных конструкционных и коррозионно-стойких сталей;

МР-6 (ТУ 38 УССР 201290-79) - светло-коричневое, средневязкое минеральное масло, содержащее примеси серы и хлора; применяется для обработки труднообрабатываемых жаропрочных и тугоплавких материалов;

МР-7 (ТУ 38 УССР 20143-79) - светло-коричневое, средневязкое минеральное масло с присадками серы; применяется как заменитель сульфофрезола; недостатком является резкое изменение вязкости при изменении температуры;

МР-99 (ТУ 38 40178-79) - производится по лицензии на концентрат “Тредкат-99”, закупленный у фирмы “Стюарт Ойл” (“Stuart Oil”). Массовое содержание МР-99 в масле зависит от вида опе-

рации, материала заготовки и инструмента; раствор нужной концентрации готовится заводом - потребителем; для обработки глубоких отверстий в ствольных сталях оптимальной концентрацией раствора следует считать 10 - 15 % МР-99 в индустриальном масле. СОЖ имеет коричневый цвет.

Основные физико-химические свойства отечественных СОЖ приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1.

Основные физико-химические свойства СОЖ

№ п/п	Параметр	Марка СОЖ				
		Сульфофрезол	МР-3	МР-6	МР-7	МР-99
1	Вязкость кинематическая при температуре 50°С	$(20\text{-}30)\times10^{-6}$	$(5\text{-}20)\times10^{-6}$	$(20\text{-}30)\times10^{-6}$	$(23\text{-}30)\times10^{-6}$	$(25\text{-}40)\times10^{-6}$
2	Температура вспышки в открытом тигле, °С	160	125	180	180	150
3	Массовое содержание механических примесей, %	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
4	Массовое содержание серы, %	1,7	1,0-2,2	0,5-1,0	1,0-2,0	3,5-5,0
5	Массовое содержание хлора, %	-	-	11-15	-	1,1
6	Массовое содержание фосфора, %	-	0,23-0,4	-	-	-

Наблюдения за процессом стружкоотвода из зоны резания показали, что стружка будет успешно удаляться из зоны резания только тогда, когда скорость транспортирующей жидкости будет не меньше скорости образования стружки. Если принять скорость резания на периферии режущих кромок за $V_c=V_{max}$ и полагать, что жидкость в зоне резания должна быть направлена в сторону отвода стружки (в стебель), имея среднюю скорость движения V_c, то создаваемый насосом скоростной поток должен увлекать образующуюся стружку. Очевидно, что для этого насос должен подавать в зону резания в единицу времени количество жидкости, равное произведению $V_c \cdot F_c$, где F_c - поперечное сечение приемного отверстия для отвода стружки у сверла. Чем больше будет суммарное сечение приемных от-

верстий у сверла, тем больше потребуется подавать жидкости для отвода стружки.

В табл. 2.2. приведены ориентировочные данные о количестве жидкости и необходимом давлении СОЖ при глубоком сверлении.

Таблица 2.2.

Количество жидкости (Q) и давление (P) при сверлении глубоких отверстий

Параметр	Диаметр сверления, мм								
	5	10	15	20	25	30	35	40	50
Q, л/мин	10	20	50	80	90	100	150	200	300
P, МПа	8,0	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5

При выборе оборудования необходимо учитывать не только его мощность и технологические возможности, но и те давления и расход СОЖ, которые могут сообщить имеющиеся на станке насосные станции.

Применяют три основных способа подвода СОЖ и отвода стружки:

1. Внутренний подвод СОЖ и наружный отвод стружки. Жидкость подается через полость внутри инструмента, а стружка отводится через полость, образованную между наружной поверхностью инструмента и поверхностью обработанного отверстия в заготовке.

2. Наружный подвод СОЖ и внутренний отвод стружки. СОЖ подается в полость между стенками сверла и просверленного отверстия, а стружка отводится по внутреннему каналу инструмента.

3. Внутренне-наружный подвод СОЖ и внутренний отвод стружки. Применяется при эжекторном сверлении.

2.7. РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ГЛУБОКОМ СВЕРЛЕНИИ

Для расчетов режимов резания при сплошном глубоком сверлении можно использовать следующие зависимости:

Скорость резания (м/мин)

$$V=\frac{5d^{0,4}}{T^{0,12}S^{0,58}}\cdot K_В\cdot K_Г.$$

Сила резания (н)

$$P_0=1800 \cdot d^{0.6} \cdot S^{0,8} \cdot K_{MP_0} \ .$$

Крутящий момент (Дж)

$$M_{KP} = 1400 d^{1,5} \cdot S^{1,0} \cdot K_{MM_{KP}}.$$

Полезная мощность, затрачиваемая на резание (кВт)

$$N_P = \frac{M_{KP} \cdot n}{716{,}2 \cdot 1{,}36},$$

где d - диаметр обрабатываемого отверстия, мм;
T - стойкость инструмента, мин;
S - подача инструмента, мм/об;
$K_в$; $K_г$; $K_м$ - коэффициенты, учитывающие вылет сверла, глубину сверления, обрабатываемый материал [7].

В табл. 2.3. приведены режимы обработки при сплошном сверлении ствольных сталей с $\sigma_в$=1000-1200 МПа сверлами одностороннего резания с режущими кромками из быстрорежущей стали (БС) и твердого сплава (ТС).

Таблица 2.3.

Режимы резания при сплошном сверлении

№ п/п	Параметр	Диаметр отверстия, мм											
		5		10		15		20		25		30	
		Материал режущей части сверла											
		БС	ТС	БС	ТС	БС	ТС	БС	ТС	БС	ТС	БС	ТС
1	Скорость резания, V, м/мин	60	120	50	100	40	80	30	60	25	50	20	40
2	Подача, S, мм/об	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,08	0,08	0,1	0,1	0,2
3	Скорость вращ. детали, n, об/мин	3000	5500	2000	3500	1500	2500	1000	2000	500	1000	200	500
4	Производи-тельность, P, мм/мин	50	100	40	80	30	70	20	40	10	30	5	20
5	Стойкость инструмента, T, мин	80	150	90	180	100	200	120	220	150	250	180	300

В табл. 2.4. приведены режимы обработки при кольцевом сверлении ствольных сталей с $\sigma_в$=1000-1200 МПа корончатыми головками с резцами, оснащенными твердосплавными пластинками.

Таблица 2.4.

Режимы резания при кольцевом сверлении

Диаметр сверления, d, мм	Глубина резания, t, мм	Скорость резания, V, м/мин	Скорость вращения детали, n, об/мин	Подача, Sz, мм/зуб	Подача минутная Sм, мм/мин	Коэффициент, резания, Кс, МПа	Сила резания, Pz, Н	Сила подачи Н	Мощность привода, N, кВт
60	17	140	740	0,13-0,17	95-125	390-365	860-1050	430-525	20-25
80	23	120	480	0,15-0,20	110-150	375-350	1300-1620	650-810	25-31
100	28	120	380	0,175-0,225	65-85	370-340	1820-2160	910-1080	36-42
150	32	120	250	0,2-0,25	50-65	350-335	2250-2260	1125-1330	44-52
200	37	120	190	0,25-0,30	47-55	335-320	3100-3550	1550-1770	60-70

Для условий, отличающихся от приведенных в табл. 2.4., расчеты можно проводить по следующим приближенным формулам:

сила резания

$$P_0' = K_C \cdot S_Z \cdot Z \frac{(d_2 - d_1)}{2},$$

крутящий момент

$$M'_{KP} = P_Z \cdot \frac{d_2}{2},$$

мощность резания

$$N' = \frac{P_Z \cdot V_C}{6\eta} \cdot 10^{-3},$$

где K_c - коэффициент резания при сверлении, зависящий от подачи и обрабатываемого материала;

S_z - подача на зуб, мм/зуб;

Z - число режущих кромок (резцов), участвующих в делении подачи;

$\frac{d_2-d_1}{2}$ - ширина реза (глубина резания), мм;

η - КПД привода от электродвигателя до заготовки или от электродвигателя до сверла (обычно $\eta \leq 0,65$).

Значения коэффициента K_c для двух групп ствольных сталей и скоростей резания V=120-140 м/мин приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5.

Значение коэффициента K_c

$\sigma_в$, МПа	Коэффициент K_c в зависимости от подачи, S_z, мм/зуб					
	0,07	0,1	0,15	0,2	0,25	0,30
50-90	340	320	305	280	270	265
100-120	420	400	380	350	335	320

Зная крутящий момент резания при сверлении можно проверить прочность стебля инструмента:

$$\sigma_{cm} \geq \frac{10M'_{kp}}{d_н^3 - d_в^3},$$

где $\sigma_{ст}$ - напряжение в стебле, МПа;

$d_н$, $d_в$ - соответственно наружный и внутренний диаметры стебля, мм.

2.8. АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА УВОД СВЕРЛА

На увод сверла оказывают влияние четыре основных фактора:

1) характеристики заготовки;
2) конструкция и геометрия инструмента;
3) система СПИД и ее обслуживание;
4) режимы резания и СОЖ.

К характеристикам заготовки относятся: непрямолинейность по длине и неконцентричность по сечению; неперпендикулярность торцев относительно оси и неровности поверхностей, устанавливаемых в патроне станка; неоднородность структуры материала по длине и по сечению; неравномерность твердости; геометрия зацентровки.

Большое влияние на увод оказывает геометрия зацентровки заготовок (рис. 2.14.). Наиболее характерны четыре формы зацентровки.

Зацентровка в виде конуса (рис. 2.14.,а) с углом при вершине 80°-120°. При касании сверла образующей конуса в первоначаль-

ный момент резания главной (периферийной) режущей кромкой сверло будет отжиматься в сторону центра на величину зазора "Δ" (зазор между поверхностью сверла и стенкой пустотелого центра достигает 0,5 мм и более).

Если зацентровка имеет форму усеченного конуса (рис. 2.14., б), то сверло начинает работать сначала вершиной, а затем главной и вспомогательной режущими кромками. Основной недостаток - интенсивный износ вершины инструмента.

Форма заготовки, выполненная по рабочему профилю инструмента (рис. 2.14.,в) является хотя и наиболее рациональной с точки зрения уменьшения увода, но не технологичной.

Форма зацентровки в виде стандартной (рис. 2.14.,г) является также целесообразной, так как имеется надежное направление сверла на длине около двух диаметров отверстия. Однако в данном случае необходимо перетачивать стандартные зацентрованные сверла под диаметр сверла, что не экономично.

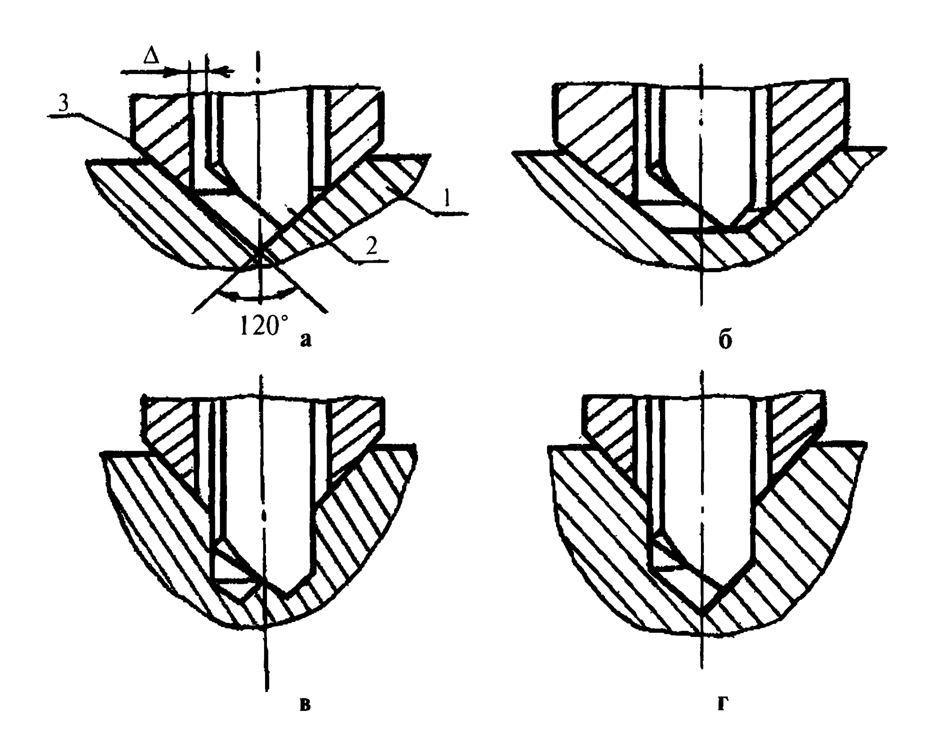


Рис. 2.14. Формы зацентровки заготовок: а - конусная, б - усеченно-конусная, в - по форме сверла, г - стандартная; 1 - деталь, 2 - сверло, 3 - пустотелый центр

Анализируя указанные формы, наиболее экономичной для массового производства следует считать первую форму зацентровки (в виде конуса), что и применяется в настоящее время в промышленности.

Влияние неравномерной твердости по длине и по сечению ствола на увод объясняется неравенством составляющих усилий резания на режущих кромках, вследствие чего сверло будет отжиматься в сторону мягких участков.

Конструкция и геометрия режущих кромок инструмента оказывает существенное влияние на величину увода.

Сверла одностороннего резания имеют минимальный увод благодаря отсутствию нулевой скорости резания и направляющим элементам.

Для уменьшения увода необходимо, чтобы радиальные составляющие усилий резания P_y^a и P_y^δ (рис. 2.15.), приложенные соответсвенно к главной и вспомогательной режущим кромкам, были:

$$P_y^a \geq P_y^\delta \tag{2.6}$$

Это основное условие нормальной работы сверла в отношении увода. Для обеспечения этого условия поясним следующее:

$$P_y^a = K_a \cdot L_a \cdot S_0;$$

$$P_y^\delta = K_\delta \cdot L_\delta \cdot S_0$$

где K_a, K_δ - коэффициенты резания или удельные давления соответственно на главной и вспомогательной кромках;

L_a, L_δ - длины кромок, мм;

S_0 - осевая подача инструмента, мм/об.

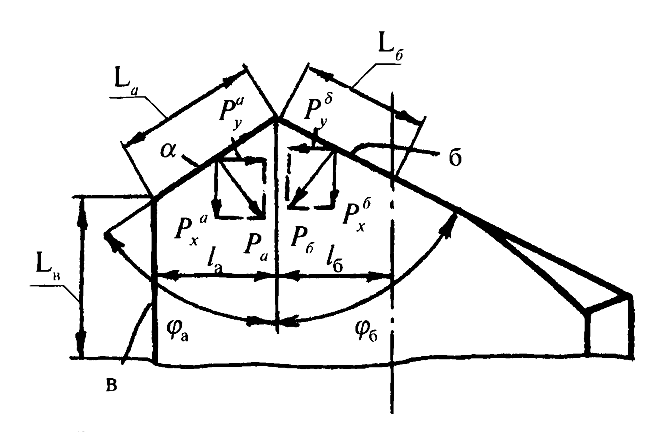


Рис. 2.15. Схема действия сил на режущие кромки сверла: а - главная (периферийная), б - вспомогательная (центральная), в - калибрующая кромки

Необходимо иметь в виду, что при $L_а=L_б$ и $\varphi_а = \varphi_б$ получается неравенство:

$$P_y^a < P_y^б ,$$

вследствие того, что $K_а < K_б$, так как с уменьшением скорости резания усилие резания несколько повышается.

Для связи одностороннего резания скорости резания на кромках "а" и "б" различны, а именно:

$$V_{аср} = \frac{3}{4} V_{max} ;$$

$$V_{бср} = \frac{1}{4} V_{max} .$$

Вследствие этого: $K_а < K_б$.

Таким образом, чтобы выполнить условие (2.6) необходимо обеспечить одно из двух требований:

1) при равенстве условия $\varphi_а = \varphi_б$ нужно, чтобы $l_а > l_б$ (или $L_а > L_б$);

2) при равенстве расстояний $l_а = l_б$ (или длин кромок $L_а>L_б$) нужно, чтобы $\varphi_а < \varphi_б$.

Угол при вершине инструмента должен быть равен 120° ($\varphi_а + \varphi_б = 120°$).

Более широкими возможностями по оценке увода обладают модели накопленных уводов по длине обработки. Они могут быть статическими и динамическими, сформированными соответственно без учета и с учетом динамики технологической системы. Наибольший интерес представляют статические модели уводов при сверлении невращающимся и вращающимся инструментом.

Статическая модель увода при сверлении невращающимся инструментом, учитывающая один из важных факторов, определяющих увод оси, - базирование инструмента на поверхность, имеющую биение, может быть получена на основе использования принципа копирования погрешностей.

Модель увода имеет вид:

$$\Delta(l) = h_0 \cdot \left(\frac{l}{l_0}\right)^{1,5} , \qquad (2.7)$$

где $\Delta(l)$ - увод оси отверстия в сечении, расположенном на расстоянии "l" от места заделки стебля в передней стойке (задней части маслоприемника);

$h_о$ - смещение оси зацентрованного (заправочного) отверстия от оси вращения заготовки;

$l_о$ - расстояние от места заделки стебля до переднего торца заготовки.

Математическая модель увода (2.7) разработана для простейшей расчетной схемы технологической системы в виде балки, имеющей шарнирно-подвижную опору в обрабатываемом отверстии и заделку в передней стойке (задней части маслоприемника).

Статическая модель увода при сверлении вращающимся инструментом в невращающейся заготовке для аналогичной расчетной схемы технологической системы в проекциях на плоскости “XOY” (горизонтальная плоскость) и “XOZ” (вертикальная плоскость) имеет вид:

$$\begin{cases} y(x) = y_0\left[\frac{x}{x_0}\right]^{1,5} \\ z(x) = \frac{q}{120 \cdot E \cdot Y} x^4 + \left[z_0 x_0^{-1,5} - \frac{q}{120 \cdot E \cdot Y} x_0^{25}\right] \cdot x^{1,5} \end{cases}, \qquad (2.8)$$

где x - вылет инструмента от места заделки;

$y(x)$, $z(x)$ - проекции вектора увода $r(x)$ на горизонтальную и вертикальную плоскости на расстоянии x;

x_0 - расстояние от места заделки стебля до переднего торца заготовки;

q - распределенная нагрузка от действия массы стебля, $q = V \cdot g \cdot s$ (v - массовая плотность материала стебля, g - ускорение силы тяжести, s - площадь сечения стебля);

$E \cdot Y$ - изгибная тяжесть стебля.

Анализ математических моделей (2.8) показывает, что увод в вертикальной плоскости определяется погрешностями зацентровки (заправки) z_0, действием массы стебля q и зависит от вылета стебля x, расстояния от места заделки стебля до переднего торца заготовки x_0 и изгибной жесткости стебля EY и может быть больше, чем в горизонтальной плоскости при одинаковых условиях обработки.

Установлено, что увод при сверлении не зависит от частоты вращения, поэтому динамическая модель увода будет совпадать со статической моделью.

Технологическая модель СПИД (станок - приспособление - инструмент - деталь) также оказывает влияние на увод оси отверстия. Основное влияние оказывает станок в зависимости от характера движений; придаваемых инструменту и заготовке. Кроме того, на увод влияют также биение шпинделя, жесткость станка, непараллельность линии центров станка с направляющими станины и величины зазора, образованного между сверлом и стенками пустотелого центра. Улучшение обслуживания системы СПИД уменьшает увод оси отверстия.

Режимы резания и СОЖ оказывают значительное влияние на увод сверла.

При увеличении скорости резания уводы резко снижаются. При этом уменьшается не только увод, но и повышается производитель-

ность обработки. Причина снижения увода - гироскопический эффект. Если основной причиной уводов является наличие поперечной разнообрабатываемости заготовок, а поперечная разнообрабатываемость уменьшается с возрастанием скорости резания, то можно предположить, что на весьма высоких скоростях резания можно проводить глубокое сверление практически без уводов.

Установлено, что при увеличении подачи при сверлении величина уводов возрастает. Это положение можно объяснить увеличением отклонения инструментов при увеличении подачи и наличии поперечной разнообрабатываемости. Однако, чем больше подача, тем меньше число отжимов инструмента. На увод оказывает также влияние правильный выбор СОЖ. Ее нужно подбирать не только из-за снижения затрат мощности и сокращения ее потерь со стружкой, но и для оказания благоприятного влияния на условия работы режущих кромок и направляющих элементов. Установлено, что уменьшение вязкости при определенных давлениях может привести к выдавливанию СОЖ и разрыву пленки смазки под направляющими элементами инструмента, а это приводит к увеличению сил трения, возникновению или усилению вибраций инструмента, его изнашиванию и, как следствие, к уводу.

2.9. ВИБРАЦИОННОЕ ГЛУБОКОЕ СВЕРЛЕНИЕ

2.9.1. Сущность, схемы и назначение процесса

Наряду с изучением вредных вибраций у нас в стране были проведены исследования и разработаны способы практического применения полезных вибраций при резании [8].

Вибрационное сверление - это процесс обработки с осциллирующим движением инструмента или заготовки в осевом направлении (рис. 2.16).

В связи с этим существует две схемы глубокого вибрационного сверления:

1) осциллирующее движение сообщается инструменту;
2) осциллирующее движение сообщается заготовке.

Первая схема применяется в настоящее время при обработке отверстий диаметром до 20 мм, а вторая - свыше 20 мм.

При обработке глубоких отверстий наряду с обычным сверлением различают непрерывное и прерывистое вибрационное сверление. При непрерывном вибрационном сверлении режущие кромки не выходят из зоны резания, т. е. они постоянно снимают слой стружки переменной толщины. Прерывистое вибрационное сверление определяется четырьмя периодически повторяющимися процессами: врезание, установившееся резание, выход и отдых режущего клина инструмента.

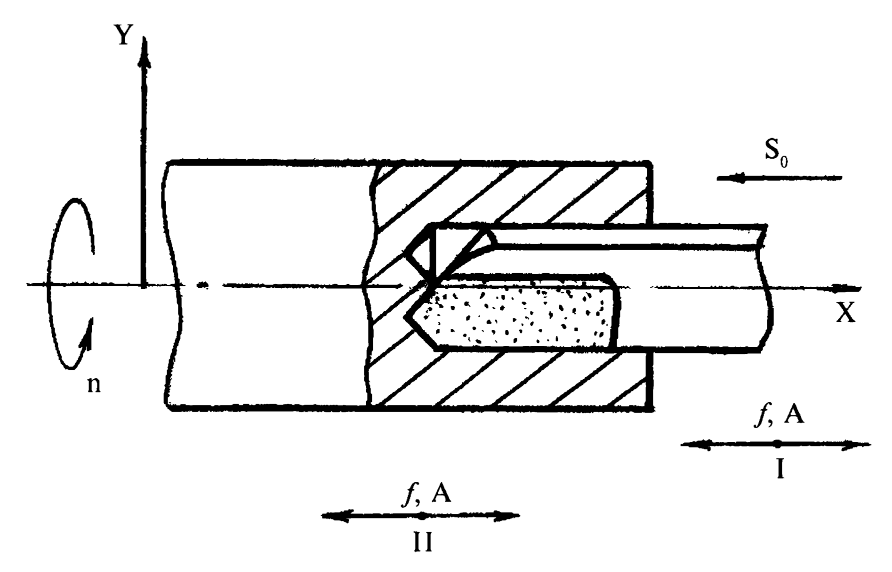


Рис. 2.16. Схема вибрационного сверления

При обработке глубоких отверстий наиболее эффективно прерывистое сверление.

Вибрационное сверление позволяет:

1. Эффективно и надежно дробить стружку. Известна следующая классификация стружки по виду: сливная, суставчатая и элементная, основанная на характере процесса стружкообразования. При вибросверлении происходит качественное изменение процесса стружкообразования и, как следствие, получается элементообразная форма стружки.

2. Улучшить обрабатываемость широко применяемых в оборонной промышленности высокопрочных, нержавеющих и жаропрочных труднообрабатываемых марок сталей и сплавов.

3. Улучшить качество поверхности и точность обрабатываемого отверстия. Использование осевых вибраций при сверлении дает возможность снизить величину шероховатости до 2 мкм и повысить точность обработки до 11 квалитета.

4. Повысить производительность обработки (в 5 - 10 раз).

5. Повысить стойкость режущего инструмента (в 1,5 раза).

6. Улучшить условия охлаждения режущих кромок инструмента.

7. Улучшить теплоотвод из зоны резания.

2.9.2. Кинематика процесса виброcверления

Установлено, что технологические показатели: прочность и стойкость инструмента, качество поверхности и точность обработки, производительность и трудоемкость зависят прежде всего от направления вибрации, а также от их частоты, амплитуды и формы. Наиболее нежелательны с этой точки зрения радиальные вибрации (по оси "Y") значительных амплитуд. Осевые и тангенциальные вибрации при оптимальных значениях своих параметров приводят к улучшению процесса.

Основной особенностью процесса резания с осевыми (по оси "X") вибрациями являются колебания в широких пределах сечения срезаемого слоя и в значительном диапазоне рабочих углов резания. Благодаря этому этот вид обработки рекомендуется использовать как способ надежного дробления стружки.

Основными кинематическими параметрами, характеризующими протекание любого процесса вибрационного резания, являются (рис. 2.17):

1. Соотношение частоты задаваемых вибраций инструмента к числу оборотов заготовки с учетом числа режущих кромок инструмента:

$$(k_1+i)=\frac{60f}{z \cdot n},$$

где (k_l+i) - характеристика сдвига фаз;

k_1 - целое число периодов колебаний инструмента, укладывающихся за время одного полного оборота обрабатываемой детали (на участке "l");

i - сдвиг фаз (расстояние между следами двух смежных проходов);

f - частота задаваемых вибраций инструмента;

z - количество режущих кромок инструмента;

n - число оборотов шпинделя.

Характеристика сдвига фаз (k_1+i) определяет изменение сечения срезаемого слоя стружки. Стружка получается в виде запятой (заштрихованная область на рис. 2.17).

2. Отношение подачи (S_0) к составляющей амплитуды колебаний (A_x) по оси "X":

$$k_2=\frac{S_0}{A_x}.$$

Параметр k_2 определяет условие входа и выхода инструмента.

3. Отношение составляющей максимальной скорости вибрационного движения инструмента (v_{oc}) по оси "X" к окружной скорости ($v_{окр}$):

$$k_3 = \frac{V_{oc}}{V_{okp}}.$$

Параметр k_3 определяет изменение рабочих углов резания и скорости по длине среза.

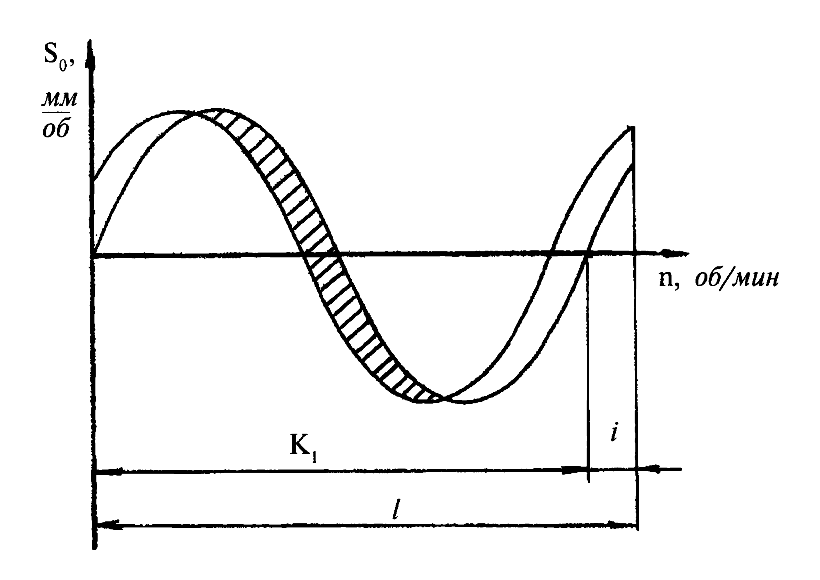


Рис. 2.17. Характер вибраций со сдвигом фаз

2.9.3. Механика процесса вибросверления

Изучение механики процесса стружкообразования позволило разработать классификацию вибраций по частоте:

1) низкочастотные (до 200 Гц), приводящие только к количественному изменению условий стружкообразования и обычно используемые в осевом направлении для дробления стружки;

2) угол закручивания сверла изменяется в пределах от 18° до 26° в зависимости от частоты вынужденных колебаний;

3) коэффициент депланации сверла равен 0,1 (это значит, что при закручивании сверла на один градус режущие кромки сверла смещаются на 0,1 мм);

4) частота крутильных колебаний всегда совпадает с частотой вынужденных колебаний в осевом направлении;

5) частота колебаний вибратора соответствует частоте колебаний режущих кромок инструмента;

6) амплитуда колебаний режущих кромок сверла не соответствует амплитуде колебаний вибратора. Так, для сверла длиной 1000 мм при размахе колебаний вибратора равном 0,05 мм и частоте 35 Гц, размах колебаний режущих кромок составляет 0,042 мм. С увеличением частоты колебаний вибратора амплитуда колебаний кромок сверла возрастает. При частоте колебаний 200 Гц амплитуда колебаний увеличивается почти в 2 раза.

Уменьшение длины сверла в 4 раза приводит к росту амплитуды колебаний режущих кромок сверла в 1,2 раза. С увеличением осевого усилия от 300 до 800 Н размах колебаний режущих кромок уменьшается от 0,045 до 0,03 мм.

Измерение колебаний режущих кромок сверла производится специальными устройствами (а. с. № 207645 СССР) и с помощью прибора “Талерунд”.

С изменением частоты от 30 до 200 Гц амплитуда, сила резания и момент практически не изменяются, в то время как с увеличением амплитуды колебаний вибратора растет размах колебаний, сила резания и крутящий момент.

При увеличении размаха колебаний вибратора от 0,02 до 0,04 мм сила резания увеличивается от 400 до 500 Н, крутящий момент от 25 до 35 кДж. Частота колебаний осевой силы и момента при вибросверлении совпадает с частотой вынужденных колебаний инструмента.

2.9.4. Физика процесса вибросверления

Измерение сил и работы резания показало, что при обработке с низкочастотными осевыми вибрациями средние значения составляющих силы резания (P_z и P_x) уменьшаются на 20% по сравнению с обычным резанием. Это свидетельствует об уменьшении работы резания, что должно приводить к снижению количества выделяющегося тепла. Однако ухудшаются условия нагружения режущего клина. Величина возникающих при резании сил зависит от частоты вибраций (f) и характеристики сдвига фаз ($\kappa_1 + i$). С ростом частоты вибраций усилие резания уменьшается. При отсутствии сдвига фаз (i=0) получаются условия обработки, близкие к обычному резанию, т. е. усилие резания максимально.

Наиболее благоприятные условия резания имеют место при ($\kappa_1 + i$)=2. Дальнейшее повышение значения ($\kappa_1 + i$) ведет к увеличению сил, вследствие роста отрицательного влияния явлений врезания и выхода инструмента.

Тепловые явления определяются прежде всего видом процесса резания с вибрациями. При низкочастотном вибросверлении на низких скоростях резания происходит возрастание температурного поля и износа по сравнению с обычным резанием, а в области высоких скоростей резания - резко снижается температурное поле и износ инструмента.

Износ при резании с вибрациями представляет собой сложный физико-химический процесс пластической деформации и разрушения слоев. Применение вибраций в зоне низких скоростей резания, когда температура резания на контактных поверхностях относительно мала и поэтому определяющее значение имеют адгезионные явления (налипание, схватывание), приводит к росту интенсивности износа. И наоборот, обработка с вибрациями в области больших скоростей резания, когда температура резания на контактных поверхностях высока и решающее значение имеют диффузионные процессы, приводит вследствие снижения температуры к уменьшению интенсивности износа инструмента. Интенсивность износа инструмента зависит также от частоты вибраций и сдвига фаз. При низкочастотных вибрациях это определяется размерами элемента срезаемого слоя и условиями входа и выхода режущих кромок инструмента. Исследования показали, что наибольший износ имеет место при значениях i=0,5, а наименьший при i=0,2. Учитывая, что отрицательное влияние вибраций в наибольшей степени проявляется при адгезионном износе, наиболее эффективны должны быть СОЖ, обладающие максимальным смазывающим действием.

Точность обработки резанием с вибрациями определяется большим числом факторов. Они разбиваются на три группы:

1. Погрешности, которые появляются вне зависимости от того осуществляется процесс резания с вибрациями или без них (действие внутренних напряжений, погрешности установки и закрепления заготовки, настройки операции и т.д.).

2. Погрешности, степень воздействия которых изменяется при резании с вибрациями, однако механизм, связывающий первичные и вторичные погрешности, остается неизменным (износ инструмента, температурные и упругие деформации системы СПИД и т. п.).

3. Факторы, влияющие на точность обработки только при резании с вибрациями. Сюда входят:

1) погрешности, связанные с включением в систему СПИД нового элемента - вибратора;

2) повышенная подвижность узлов под действием вибраций, саморасклинивание соединений;

3) демфирование автоколебаний под действием вынужденных колебаний;

4) периодичность наростообразования;

5) формирование дробленой стружки, значительно повышающей точность обработки;

6) кинематические параметры процесса резания с вибрациями. Так, если отношение частоты вибрации к числу оборотов детали равно единице, т. е. $(\kappa_1 + i)=1$, то отверстие в детали получается круглым, но с эксцентриситетом, равным амплитуде колебаний. При $(\kappa_1+i)=2$ отверстие не имеет эксцентриситета, но отклонение от круглости равно амплитуде и т. д. При целых значениях $(\kappa_1 + i)$ все поперечные сечения отверстия имеют одинаковый профиль, при дробных - сплошной профиль. Таким образом, отношение $(\kappa_1 + i)$ является качественным показателем, определяющим возникновение погрешности данного вида, а амплитуда - количественным показателем, определяющим возникновение погрешности данного вида, а амплитуда - количественным показателем, характеризующим величину этой погрешности.

Вибрационная обработка существенно влияет на эксплуатационные свойства деталей. Изучение механизма формирования микронеровностей и строения поверхностного слоя отверстий позволили разработать методику назначения оптимальных режимов резания и вибраций. Использование осевых вибраций при глубоком сверлении дает возможность получить снижение величины шероховатости относительно обычного резания, что позволяет исключить операции чернового развертывания. Применение вибраций, вследствие интенсивного циклического воздействия на металл детали, приводит к интенсивному наклепу поверхностного слоя с существенным изменением напряженного состояния в сторону образования поля сжимающих напряжений. Следовательно, преимуществом применения вибросверления является также совмещение упрочнения с процессом формообразования отверстия.

2.9.5. Оборудование для вибрационного глубокого сверления

Для вибрационного глубокого сверления применяются специальные горизонтальные станки с полуавтоматическим и автоматическим циклом работы моделей 150 ГСБМ, 350 ИГСА и РТ 601, т. е. такие же станки, что и для обычного глубокого сверления. Отличие станков состоит в том, что для вибросверления используются специальные устройства - вибраторы.

Существует два типа вибраторов:

1) электрогидравлические;
2) механогидравлические.

Применение первого типа вибраторов нецелесообразно из-за отсутствия постоянства амплитуды в рабочем диапазоне частот и зависимости амплитуды колебаний от нагрузки.

Второй тип вибраторов имеет постоянную амплитуду в диапазоне частот от 35 до 200 Гц, отличается высокой линейностью в диапазоне амплитуд от 0,015 до 0,15 мм и не зависит от изменения нагрузки.

Для уменьшения величины поперечных (радиальных) колебаний (примерно, в 2 раза) используются специальные люнеты с эксцентриковым прижимом.

2.9.6. Инструменты для глубокого вибросверления

Для выполнения операции вибрационного глубокого сверления применяются специальные сверла. Они проектируются как инструмент с осевыми вибрациями с учетом специфических особенностей этого процесса. Стебель сверла имеет повышенную жесткость за счет того, что в процессе резания образуется мелкодробленая стружка заранее заданных размеров и формы, которая легко размещается в менее глубоких канавках. Для проектирования таких сверл разработаны руководящие материалы, где приведена также технология их производства.

Основной особенностью таких сверл является то, что главная (периферийная) режущая кромка “а” делится на несколько частей (a_1; a_2; a_3) и каждая часть кромки затачивается под определенным углом (рис. 2.18.). Например, кромка a_1 затачивается под углом φ_1=60°, a_2 - под углом φ_2=45°, a_3 - под углом φ_3=30°. Это необходимо для снижения интенсивности износа режущих кромок и уменьшения радиальных колебаний инструмента.

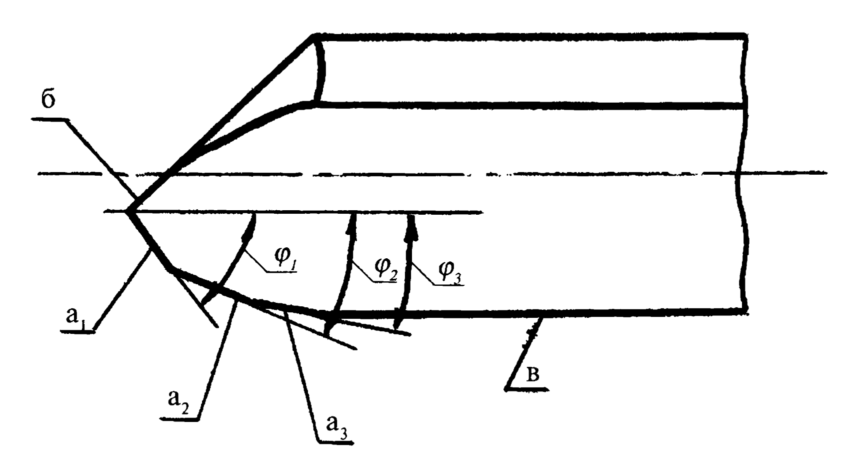


Рис. 2.18. Конструктивная схема сверла для вибросверления

2.9.7. Режимы резания и СОЖ при глубоком вибросверлении

Процесс вибрационного глубокого сверления в промышленности применяется в основном при обработке отверстий диаметром до 30 мм. Режимы резания при вибросверлении глубоких отверстий в закаленных высокопрочных сталях и жаропрочных сплавах приведены в табл. 2.6.

Применение вибраций оптимальных режимов значительно повышает эффективность действия СОЖ, позволяет применить новые, качественно отличные составы, например металлическую суспензию (эмульсию). Это обусловлено надежным периодическим омыванием режущего клина инструмента, происходящим во время его выхода из обрабатываемого материала, что резко повышает интенсивность смазывающего и диспергирующего действия СОЖ.

Таблица 2.6.

Режимы резания при вибросверлении

№ п/п	Параметр	Диаметр отверстия, мм		
		10	20	30
1	Скорость резания, *V*, м/мин	120	100	80
2	Подача, *S*, мм/об	0,02	0,03	0,05
3	Амплитуда колебаний, мм	0,015	0,08	0,15
4	Частота осевых колебаний, *f*, Гц	150	100	35
5	Скорость вращения детали, об/мин	5000	3000	1000
6	Стойкость инструмента, мин	100	150	200

Комплексная оценка воздействия СОЖ посредством замера действующих сил, температур и износа инструмента показала, что резание с вибрациями резко повышает физико-химическое действие СОЖ и за счет этого увеличивает стойкость инструмента в 3 - 5 раз.

Наиболее часто применяются следующие металлические суспензии:

1) молибденовые суспензии;
2) суспензии на основе порошка Вуда (а. с. № 186599 СССР).

Давление смазывающе-охлаждающей суспензии при обработке отверстий диаметром до 30 мм достигает до 15 МПа.

2.10. ЭЖЕКТОРНОЕ ГЛУБОКОЕ СВЕРЛЕНИЕ

Как отмечалось выше при эжекторном сверлении используется внутренне-наружный подвод СОЖ и внутренний отвод стружки (рис. 2.19). На первом участке подвода осуществляется внутренний подвод по каналу в виде кольцевого зазора в инструменте между стеблем 2 и трубой 3, а затем часть потока СОЖ с расходом Q_0 через радиальное отверстие в головке 1 и далее по каналу в виде кольцевого зазора между стеблем и головкой направляется во внешний канал, по которому она подается в зону резания. Отвод стружки производится по внутреннему каналу - по центральному отверстию в головке 1 и трубе 3. Рассмотренный способ отличается двумя особенностями. Во-первых, СОЖ движется здесь под действием напора, создаваемого насосом, только на участке подвода, включая радиальные отверстия в головке. Дальнейшее ее движение вместе со стружкой осуществляется за счет работы эжектора. Для этого подаваемый насосом поток СОЖ с расходом Q_Σ в зоне наклонных сопловых отверстий в трубе 3 разделяется на два: один с расходом Q_0 направляется в зону резания, а второй - с расходом $Q_э$ - проходя через сопловые отверстия, создает эффект эжекции. Кинетическая энергия этого потока используется для отсоса СОЖ и стружки из зоны резания. Во-вторых, не весь поток СОЖ, подаваемый насосом, поступает в зону резания, а лишь часть его Q_0. По условиям работы данной гидравлической системы расходы $Q_э$ и Q_0 ограничены определенными пределами, что ограничивает скорость потока и в свою очередь - область использования данного способа как по глубине сверления, так и по диаметру, форме и размерам элементов стружки. При оптимальных параметрах эжектора отсутствует избыточное давление в зазоре между инструментом и отверстием в заготовке, нет утечек СОЖ из отверстия заготовки и подсоса воздуха в зону резания. Этот способ разработан шведской фирмой "Сандвик Коромант" ("Sandvik Coromant") и широко применяется за рубежом.

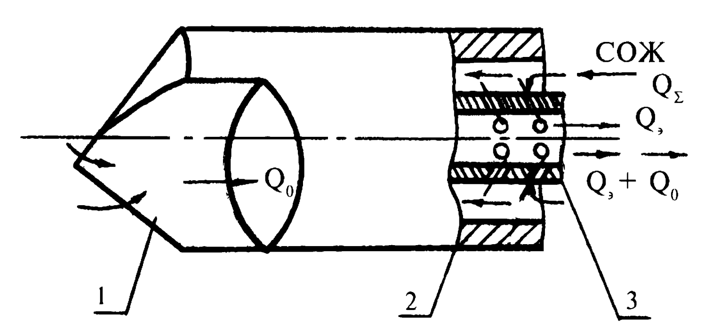


Рис. 2.19. Эжекторное сверло: 1 - режущая часть, 2 - наружная трубка, 3 - внутренняя трубка

Успешное внедрение процесса эжекторного глубокого сверления в отечественной промышленности связано с решением целого комплекса вопросов по проектированию и производству такого оригинального инструмента и всей технологической оснастки. При проектировании инструмента особое внимание обращается на методику расчета сверл на жесткость, которая включает следующие этапы:

1. Вычисляются осевые моменты инерции сечения сверла J_x, J_y, и момент инерции при кручении J_k, как функции диаметра d сверла в $см^4$.

2. Вычисляются главные жесткости изгиба $\bar{A}$, $\bar{B}$ и жесткость при кручении $\bar{C}$, выражая их как функцию произведения $E \cdot d^4$.

$$\bar{A}=EJ_x;\ \bar{B}=EJ_y;\ \bar{C}=G\cdot J_k=\frac{E}{2(1+\mu)}\cdot J_k,$$

где E - модуль упругости, МПа;

G - модуль сдвига, МПа;

$\mu = \frac{1}{3}$ - коэффициент Пуассона.

3. Вычисляются жесткости в безразмерной форме:

$$A=\frac{\bar{A}}{E\cdot d^4};\ B=\frac{\bar{B}}{E\cdot d^4};\ C=\frac{\bar{C}}{E\cdot d^4}.$$

4. Подставляются A, B, C в выражения для σ_1 и σ_2, которые являются аргументами в тригонометрических и гиперболических функциях условий критических состояний и отличающихся друг от друга только в знаке перед корнем:

$$\sigma_1=\frac{1}{2}\cdot\left[1+\frac{(A-C)\cdot(B-C)}{A\cdot B}\right]\cdot\varphi_H^2+\frac{A+B}{2A}\cdot Q_C-$$
$$-\sqrt{\frac{(A-B)^2}{4A^2}\cdot Q_C^2+\left[1-\frac{(A-C)\cdot(B-C)}{A\cdot B}\right]^2\cdot\frac{\varphi_A}{4}+\left[\frac{A+B}{2A}\left(1+\frac{(A-C)\cdot(B-C)}{A\cdot B}+\frac{A-C}{A}+\frac{B-C}{B}\right)\right]\cdot\varphi_H^2\cdot Q_C};$$

$$\sigma_2=\frac{1}{2}\cdot\left[1+\frac{(A-C)\cdot(B-C)}{A\cdot B}\right]\cdot\varphi_H^2+\frac{A+B}{2A}\cdot Q_C+$$
$$+\sqrt{\frac{(A-B)^2}{4A^2}\cdot Q_C^2+\left[1-\frac{(A-C)\cdot(B-C)}{A\cdot B}\right]^2\cdot\frac{\varphi_A}{4}+\left[\frac{A+B}{2A}\left(1+\frac{(A-C)\cdot(B-C)}{A\cdot B}+\frac{A-C}{A}+\frac{B-C}{B}\right)\right]\cdot\varphi_H^2\cdot Q_C}.$$

5. Подставляются А, В, С в выражение для f_a:

$$f_a=\frac{A-C}{A}\cdot\varphi_H^2-\frac{B}{A}\cdot Q_C.$$

6. Подставляются значения σ_1, σ_2, f_a, в выражение для ξ:

$$\xi = \frac{\sigma_1 + f_a}{\sigma_2 + f_a} \cdot \sqrt{\left|\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right|} \ .$$

7. В зависимости от знака (сигнатуры) σ реализуются в ЭВМ первая или вторая группа условий критических состояний сверла.

Первая группа соответствует sign σ_1 = +1:

$$\sin\sqrt{|\sigma_2|} \cdot \cos\sqrt{|\sigma_1|} - \xi\sin\sqrt{|\sigma_1|} \cdot \cos\sqrt{|\sigma_2|} = 0 \ ;$$

$$\sin\sqrt{|\sigma_1|} \cdot \cos\sqrt{|\sigma_2|} - \xi\sin\sqrt{|\sigma_2|} \cdot \cos\sqrt{|\sigma_1|} = 0.$$

Вторая группа соответствует sign σ_2 = -1:

$$\sin\sqrt{|\sigma_2|} + \xi th\sqrt{|\sigma_1|} \cdot \cos\sqrt{|\sigma_2|} = 0 \ ;$$

$$th\sqrt{|\sigma_1|} \cdot \cos\sqrt{|\sigma_2|} - \xi\sin\sqrt{|\sigma_2|} = 0 \ ;$$

где *th* - гиперболический тангенс.

8. ЭВМ решив ту или иную группу условий критических состояний сверла, выдает численные значения условно-осевой силы Q и угла $\varphi_н$ или, что то же самое, G - условно-скручивающий момент. По этим данным строится график зависимости $Q_с = f(G)$.

9. Определяется теоретически (или экспериментально) момент G, возникающий на конце сверла в результате трения и резания. По значению G ($\varphi_н$) входят в график и определяется для данного значения G критическая сжимающая сила $Q_с$ в безразмерной форме. При этом необходимо иметь в виду, что условно-скручивающий момент G, возникающий на конце сверла определяется:

$$G = \frac{M \cdot l}{C} \ ,$$

где l=0,5·L - половины длины сверла, в см;

М - истинный момент, возникающий на конце сверла, Дж.

10. Вычисляется истинное значение критической осевой силы, при которой сверло теряет жесткость (устойчивость):

$$F_{kp} = \frac{Q \cdot B}{l^2} \ ;$$

где Q - условно-осевая критическая сжимающая сила, Н;
B - жесткость по оси "Y" в безразмерной форме;
l=0,5L - половина длины сверла, мм.

11. Критическое значение скручивающего момента "$M_{кр}$" определяется по графику в координатах "Q_c-G".

Исходя из изложенного назначаются такие режимы обработки, которые обеспечивали бы надежную жесткость (устойчивость) сверла.

Режимы резания при эжекторном сверлении приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.7.

№ п/п	Параметр	Обрабатываемый материал, $\sigma_{вр}$, МПа		
		500-700	800-1000	1100-1200
1	Скорость резания, V, м/мин	100-120	80-100	50-80
2	Осевая подача, S_0, мм/об	0,2-0,3	0,15-0,25	0,1-0,2

При эжекторном вибросверлении режимы резания повышаются, а следовательно, увеличивается производительность процесса за счет улучшения условий стружкодробления и вымывания ее из зоны резания.

Эжекторное сверление повышает производительность в 2 - 3 раза по сравнению с обычным непрерывным сверлением, которая достигает до 300 мм/мин, точность обработки до 10 квалитета, уменьшает параметр шероховатости, которая не превышает обычно 2,5 мкм, и увод оси на 100 мм длины сверления до 0,05 мм.

2.11. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ГЛУБОКОГО СВЕРЛЕНИЯ

Применяются простые, полуавтоматические и автоматические станки для глубокого сверления. В простых горизонтально-сверлильных станках имеются специальные механизмы для выключения станка при окончании процесса сверления, а также для выключения станка, когда величина крутящего момента возрастает выше допустимого по прочности и жесткости сверла. Это допускает многостаночное обслуживание, которое, однако, ограничивается тем, что рабочий должен часто проверять вымывание стружки и устранять возможное закупоривание отверстие стружкой, чтобы предохранить сверло от поломки.

В полуавтоматических станках специальное устройство, предохраняющее сверло от поломок, сделано таким образом, что при воз-

растании на любом из шпинделей крутящего момента или осевого усилия выше допустимого рабочие салазки автоматически отходят на быстром ходу назад, также быстро возвращаются обратно и переключаются вновь на рабочую подачу. Если перегрузка произошла вследствие закупоривания отверстия стружкой, то при отходе салазок стружка будет вымыта смазывающе-охлаждающей жидкостью и сверление будет продолжено. Если же перегрузка произошла по причине затупления (износа) сверла, то рабочие салазки будут ходить взад и вперёд до тех пор, пока не произойдет смена инструмента.

Полная автоматизация процесса глубокого сверления достигается оснащением станков робототехническим комплексом, транспортом и специальными устройствами для адаптивной системы управления. Использование модульных систем, встраивание станков в автоматические и гибкие производственные системы (ГПС) позволяют достичь безлюдной технологии производства.

3. РАЗВЕРТЫВАНИЕ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

3.1. СУЩНОСТЬ, НАЗНАЧЕНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА

Развертыванием называется процесс обработки отверстий широколезвийным инструментом. Данная операция является получистовой перед образованием нарезов в канале ствола. Точность отверстий после развертывания достигает 8, 9 квалитетов, шероховатость поверхности до R_a = 0,16 - 0,32 мкм. Точность операции развертывания вполне удовлетворяет требованиям к каналу под операцию образования нарезов. Однако поперечные штрихи и риски на поверхности канала не позволяют применить развертывание в качестве окончательной операции перед образованием нарезов.

Развертывание применяется для глубоких отверстий диаметром до 30 мм. В зависимости от размеров деталей, точности и качества изготовления развертывание проводится после глубокого сверления перед термической обработкой, после термической обработки или непосредственно перед окончательной обработкой гладкого отверстия.

В условиях массового и серийного производства применяется три вида развертывания: черновое, получистовое и чистовое. Однократное развертывание как правило, не применяется, так как оставляемый для развертывания припуск сравнительно большой величины удалить одной разверткой затруднительно.

Черновое развертывание проводится после глубокого сверления и термической обработки заготовок стволов. Если принять общий припуск на развертывание за “Δ“, то на черновое развертывание приходится припуск $\Delta_1 = 0{,}6 \cdot \Delta$.

Получистовое развертывание проводится после предварительного (чернового) формообразования патронника. Припуск на получистовое развертывание оставляют $\Delta_2 = 0,3\Delta$.

Чистовое развертывание проводится перед окончательной обработкой гладкого канала ствола. При этом припуск на чистовое развертывание достигает $\Delta_3 = 0,1\Delta$.

Существует две технологические схемы развертывания глубоких отверстий (рис. 3.1.):

1. Развертывание “на сжатие”.
2. Развертывание “на растяжение”.

В обоих случаях инструменту сообщается вращательное движение. По первой схеме инструмент проталкивается в отверстие детали, а по второй - протягивается. Установлено, что производительность и качество обработки по второй схеме выше, чем по первой. Кроме того вторая схема позволяет вести обработку на скоростных режимах резания.

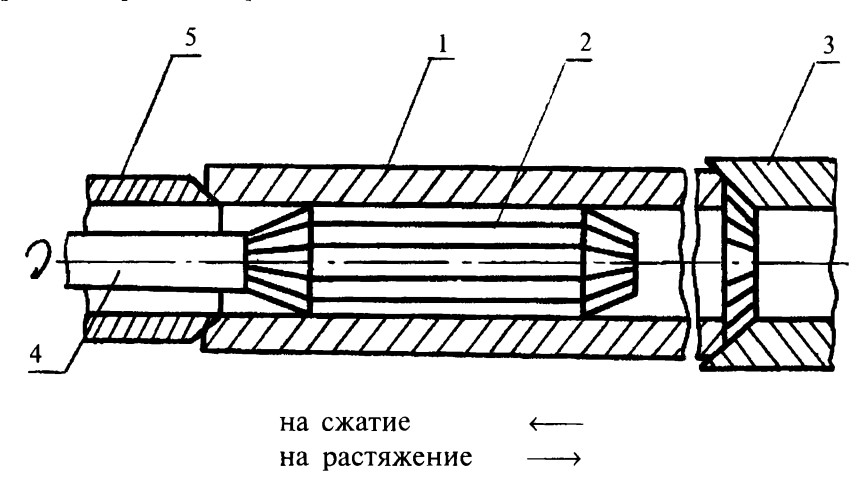


Рис. 3.1. Технологические схемы развертывания глубоких отверстий: 1 - деталь, 2 - развертка, 3 - поводковый центр, 4 - стебель, 5 - пустотелый центр

3.2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГЛУБОКОГО РАЗВЕРТЫВАНИЯ

Для развертывания глубоких отверстий применяются специальные горизонтальные многошпиндельные станки с полуавтоматическим циклом работы, которые будучи снабженными роботами, транспортом и специальными устройствами для адаптивной системы управления режимами обработки могут быть встроены в модули, автоматические линии и гибкие производственные системы.

Станки для глубокого развертывания должны удовлетворять следующим требованиям:

1) обеспечивать скоростные режимы обработки;
2) непрерывно подводить СОЖ к режущим кромкам;
3) иметь автоматический цикл работы;
4) допускать одновременную обработку нескольких стволов;
5) быть простыми и надежными в эксплуатации.

Стволоразверточные станки различают по количеству и расположению шпинделей, по типу приводов главного и вспомогательного движений, насосам для СОЖ, технологической оснастке и степени автоматизации.

Стволоразверточные станки, как правило, многошпиндельные, что обусловлено необходимостью повышения производительности станков и уменьшения занимаемой ими площади. Обычно встречаются двух-, пяти-, шести- и десятишпиндельные станки, у которых шпиндели расположены в одной плоскости. Имеются также многошпиндельные станки с расположением шпинделя по окружности (барабанного типа), которые выпускаются за рубежом.

По расположению осей шпинделей станки бывают горизонтальные и вертикальные. По приводу главного движения станки бывают с зависимыми и независимыми шпинделями. В станках с зависимыми шпинделями последние получают вращение от общего передаточного вала, при этом отсутствуют механизмы, позволяющие выключать из работы тот или иной шпиндель. Наибольшее распространение получили станки с независимыми шпинделями.

По степени автоматизации стволоразверточные станки подразделяются на простые, полуавтоматические и автоматические. В простых станках возвратное движение и переустановку инструмента производят вручную. В полуавтоматических станках указанные приемы автоматизированы.

Для обработки отверстий диаметром до 15 мм применяются десятишпиндельные станки модели 151ГР1. Станки предназначены для развертывания глубоких отверстий специальными инструментами, закрепленными в неподвижной шпиндельной бабке. На подвижном столе одновременно закрепляется десять деталей, который имеет поступательное движение. Зажим деталей гидравлический. СОЖ подается в зону резания через пустотелые инструменты.

Технические характеристики станка 151ГР1:

Размер обрабатываемых отверстий, мм
    диаметр..до 15
    длина...до 800
Размер обрабатываемых деталей, мм
    диаметр..15 - 100
    длина...300 - 800
Наибольший ход стола, мм.......................................1000

Пределы чисел оборотов шпинделей, об/мин............ 130 - 750
Рабочая подача стола, мм/мин.................................... 35 - 1270
Скорость быстрого хода стола, м/мин......................... 6
Мощность электродвигателя привода главного
движения, кВт.. 3 / 5,5
Суммарная мощность электродвигателей, кВт........... 7,7 / 13
Производительность насоса, л/мин
охлаждения.. 25; 70
гидравлики.. 8
Рабочее давление в гидроцилиндрах, МПа................. 3
Габаритные размеры станка, мм...........................3000х1250х1310
Масса станка, кг.. 2500

Для скоростного развертывания глубоких отверстий диаметром до 30 мм и длиной до 1500 мм применяются двухшпиндельные станки моделей 351 ИГРА и 351 ИГРБ.

Технические характеристики станка 351 ИГРА:

Количество шпинделей.. 2
Пределы чисел оборотов шпинделя, об/мин................. 800 - 4000
Пределы подач, мм/мин... 240 - 3000
Пределы диаметров обрабатываемых деталей, мм...... 10 - 25
Пределы длин обрабатываемых деталей, мм.................. 400 - 1500
Наибольший наружный диаметр деталей, мм............. 70
Скорость быстрых перемещений м/мин...................... 6
Высота центров нижнего шпинделя от пола, мм........ 1050
Высота центров верхнего шпинделя от пола, мм........ 1350
Число электродвигателей главного движения............. 2
Мощность электродвигателя, кВт............................... 3,3 / 4,1
Мощность электродвигателя подач, кВт..................... 1,7
Габаритные размеры станка, мм.........................5670х1360х1835
Масса станка, кг.. 6000

Станки для развертывания глубоких отверстий, как правило, имеют адаптивную систему управления.

3.3. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ГЛУБОКОГО РАЗВЕРТЫВАНИЯ

К инструментам для глубокого развертывания предъявляются следующие требования:

1) обеспечивать обработку отверстия требуемой точности и шероховатости при максимальной производительности и высокой стойкости;

2) подводить СОЖ к режущим кромкам;

3) размещать стружку между зубьями и обеспечивать хорошее ее вымывание;

4) иметь хорошее направление и самоустанавливаться;

5) быть простым в изготовлении и надежным в эксплуатации.

Инструментами для глубокого развертывания являются многозубые развертки. Развертки различают по числу зубьев, конструкции и геометрии режущей части, по конструкции цевки (стебля) и способу соединения ее с разверткой. Наибольшее распространение получили трех- и пятизубые развертки, но могут применяться и однозубые развертки.

Для обычного (нескоростного) развертывания применяются трехзубые развертки, изготовляемые из быстрорежущих сталей Р6М5 или Р12Ф3 по ГОСТ 19265-73 и термически обрабатываемые до твердости 55-60 единиц $HRC_э$ (рис. 3.2).

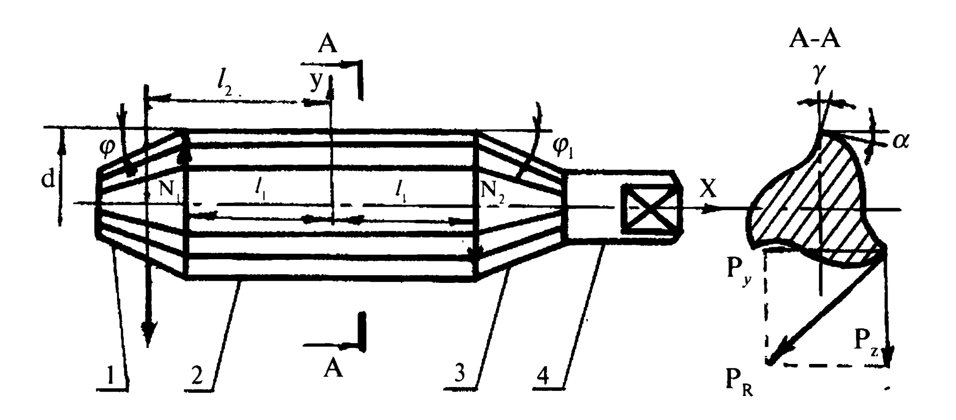


Рис. 3.2. Трехзубая развертка: 1 - заборный конус, 2 - калибрующая часть, 3 - задний конус, 4 - хвостовик

Развертка имеет следующие конструктивные параметры: длина заборной части (переднего конуса) находится в пределах (0,5-1,0)·d, угол φ = 10-15°; длина калибрующей части (3-5)·d; угол заднего (обратного) конуса φ_1 = 5-8°. Хвостовик развертки изготовляется таким, чтобы выполнялось условие самоцентрирования развертки в обрабатываемом отверстии. Передний угол γ изготовляется положительным (3-5°) у разверток, предназначенных для чернового развертывания, и отрицательным (-1,5 -2°) у разверток для чистового развертывания. Задний угол α находится в пределах 8°-15°.

Углы переходных зон от заборной части к направляющей и направляющей к заднему конусу имеют округление. Угол, прилегающий к заднему конусу развертки, можно округлять как угодно, ибо он не является рабочей частью зуба, а передний угол конуса - рабочая часть развертки и скруглением его искажается геометри-

ческая форма развертки, нарушается равноудаленность режущих кромок от оси, что ведет к разбиванию обрабатываемых отверстий и значительному снижению их точности и качества поверхности. Следовательно, развертка снимает металл не всеми резцами одновременно в равной степени, а только частью из них или только одним зубом. Это обстоятельство отрицательно влияет и на шероховатость обрабатываемой поверхности, так при работе одним зубом подача за один оборот приходится лишь на этот зуб и развертка работает подобно резцу [9].

Для пояснения сказанного рассмотрим часть процесса снятия металла разверткой, которая удаляет металл одним зубом. Силы резания в этом случае можно представить, как показано на рис. 3.2.

На рисунке изображены P_z - усилие резания, создающее крутящий момент, который преодолевается стеблем развертки; P_y - усилие резания, отжимающее зуб развертки от стенок обрабатываемой детали; P_R - равнодействующая сил P_z *и* P_y, которые перпендикулярны оси развертки и расположены в плоскости резания. В идеальном случае развертка самоустанавливается и направляется по обработанной заборной частью поверхности отверстия.

Допустим, что развертка сочленена со стеблем шарниром типа двойного шарнира Гука. Проведем через вектор силы P_R плоскость так, чтобы она была параллельна оси развертки и сила P_R лежала в ней, а затем совместим ее с диаметральной плоскостью развертки. Тогда силы, действующие на развертку в диаметральной плоскости, будут расположены так, что равнодействующая P_R вызывает силы реакций N_1 и N_2, которые расположены на концах калибрующего (цилиндрического) участка развертки, и в процессе работы под влиянием сил N_1 и N_2 она концами калибрующего участка снимает металл с обрабатываемой детали, что в практике называют “разбиванием” отверстия, т.е. диаметр обрабатываемого отверстия получается больше, чем диаметр развертки (d).

Следует отметить, что диаметр с входной стороны отверстия получается несколько больше диаметра на выходе. Это объясняется тем, что развертка на выходе не перекашивается под влиянием силы N_2, так как сила P_R исчезает у среза обрабатываемого отверстия из-за прекращения процесса резания.

Можно представить качественную характеристику процесса при работе развертки одним зубом, у которого лезвие выше остальных зубьев. Количественную оценку можно дать в упрощенном виде следующим образом.

Поместить начало координат на оси развертки в середине ее цилиндрического участка и обозначив расстояние от начала координат до точки приложения сил N_1, N_2 и P_R через l_1 и l_2, составим следующие уравнения.

Уравнение проекций:

$$P_R + N_1 - N_2 = 0. \qquad (3.1)$$

Уравнение моментов:

$$P_R \cdot l_2 + N_1 \cdot l_1 + N_2 \cdot l_1 = 0 \qquad (3.2)$$

Умножив уравнение (3.1) на " l_1" и сложив его с уравнением (3.2), получим:

$$N = P_R \cdot \frac{(l_1 + l_2)}{2 l_1} . \qquad (3.3)$$

Подставив уравнение (3.3) в уравнение (3.1), получим:

$$N_2 = P_R \cdot \frac{(l_2 - l_1)}{2 l_1} .$$

Из полученных выражений видно, что $N_1 > N_2$. Чем больше эти силы, тем будет больше диаметр обрабатываемого отверстия. Силы N_1 и N_2 зависят от равнодействующей сил резания P_z и P_y, которые меняются по величине с изменением глубины резания, состояния режущей кромки зубьев, материала обрабатываемой детали. Следовательно, разверткой, работающей одним резцом, получить одинаковые по диаметру и шероховатости поверхности нескольких отверстий невозможно. Это подтверждается практикой в том случае, когда развертка не работает как расточной резец, т.е. одной стороной на жесткой оправке.

При работе такой разверткой с помощью направляющих элементов (втулок, оправок и т.д.), сила $N_2 = 0$, так как оправка или хвостовая часть цельной развертки жесткие, и вращение ее вокруг начала координат исключено.

Тогда в этом случае $l_2 - l_1 = 0$, или $l_1 = l_2$ и, следовательно,

$$N_1 = P_R \cdot \frac{l_1 + l_2}{l_1} = P_R \cdot \frac{2l_1}{2l_1} = P_R ,$$

т.е. сила реакции равна равнодействующей силе резания.

Для определения числовых значений сил N_1 и N_2 необходимо определить силы резания P_z и P_y (также как для токарного резца), а затем найти силу P_R. Длину плеч l_1 и l_2 следует брать из чертежей на развертки.

Для удаления больших припусков применяются трех и пятизубые развертки, представляющие собой комбинацию двух разверток различных диаметров d и d_1 (рис. 3.3). Такая комбинированная развертка состоит из трех частей: режущей части "А", калибрующей части "Б" и хвостовика (стебля) "В".

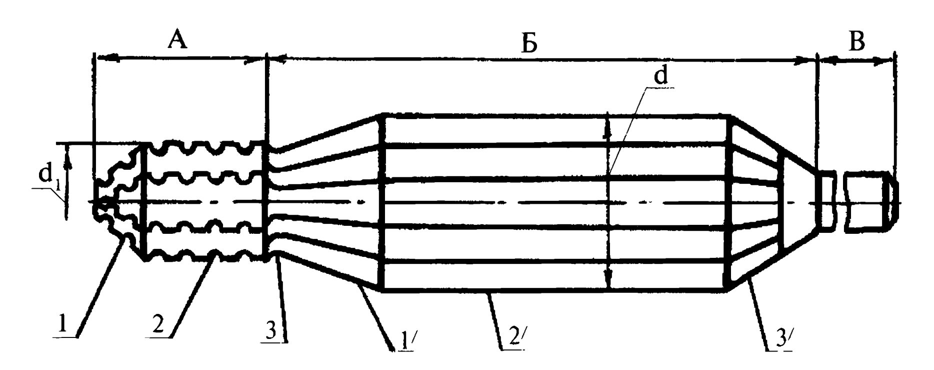


Рис. 3.3. Комбинированная развертка: А - основная режущая часть, Б - калибрующая часть, В - хвостовик (стебель)

Режущая часть развертки имеет стружкоделительные канавки, выполненные по задней грани зубьев (иногда по винтовой линии в виде резьбы). Она снимает до 90% общего припуска, подлежащего удалению данной разверткой. На калибрующую часть приходится 10% припуска. Данная развертка предназначена для нескоростного развертывания отверстий по схеме "на сжатие".

Для скоростного развертывания по схеме "на растяжение" применяется трехзубая развертка (рис. 3.4.). Она состоит из трех частей: корпуса развертки 1, припаянных пластин из твердого сплава (Т15К6) 2 и направляющей втулки 3.

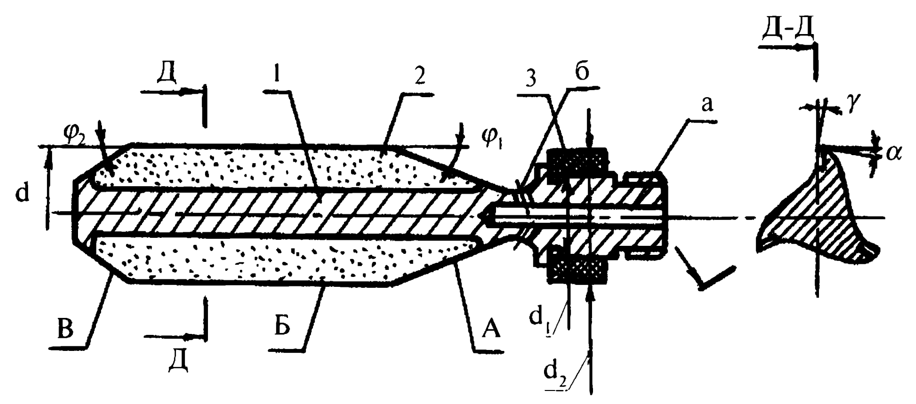


Рис. 3.4. Развертка для скоростного глубокого развертывания: 1 - корпус, 2 - твердосплавной зуб, 3 - направляющая втулка.

Корпус развертки изготовляется из инструментальной стали типа У8А-У10А. В корпусе образовано центральное отверстие "а" и три наклонных канала "б", служащие для подвода СОЖ к режущим кромкам. Одновременно с охлаждением режущих кромок жидкость вымывает стружку из пространства между зубьями.

Направляющая имеет вид трубки, изготовленной из дерева (дуба, березы, бука, клена) или из пластмассы. Она по скользящей посадке установлена на полированный участок корпуса развертки, что определяет ее внутренний диаметр "d_1". Наружный диаметр "d_2" направляющей готовят в сборе равным диаметру канала после предыдущей обработки. Длина направляющей втулки (2-3)d_2.

Основными элементами режущих зубьев являются: заборная часть или заходный конус "А", калибрующая часть "Б", задний конус "В". Заборная часть зуба развертки является главнейшим его элементом. Характеристикой заборной части является угол "φ_1" (10-15°). Заборная часть зуба развертки производит непосредственное срезание стружки некоторой толщины, что будет определять производительность операции, качества поверхности и стойкости инструмента. Длина калибрующей части составляет (0,5-2,0)d_2, которая призвана зачищать неровности поверхности и придавать каналу требуемые размеры.

Задний конус развёртки выполняется под углом "φ_2" (5-8°) и служит для исключения возможности "надиров" на поверхности канала и уменьшения "разбивания" отверстия при выходе развертки из канала ствола.

3.4. РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ ПРИ РАЗВЕРТЫВАНИИ

Режимы резания при развертываниии глубоких отверстий устанавливают в зависимости от диаметра развертки, ее конструкции, материала режущих кромок и от материала обрабатываемых деталей.

Основные режимы резания приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1.

Режимы резания при скоростном глубоком развертывании

№ п/п	Диаметр отверстия, мм	Обрабатываемый материал, $\sigma_{вр}$, МПа											
		500-600			700-800			900-1000			1100-1200		
		Режим резания											
		Скорость резания, v, м/мин	Подача, S, мм/об при l/d		Скорость резания, v, м/мин	Подача, S, мм/об при l/d		Скорость резания, v, м/мин	Подача, S, мм/об при l/d		Скорость резания, v, м/мин	Подача, S, мм/об при l/d	
			до 50	св. 50		до 50	св. 50		до 50	св. 50		до 50	св. 50
1	до 10	100	0,3	0,2	80	0,2	0,15	60	0,2	0,15	40	0,15	0,1
2	до 20	110	0,4	0,3	90	0,3	0,25	70	0,3	0,25	50	0,25	0,15
3	до 30	120	0,5	0,4	100	0,4	0,3	80	0,4	0,3	60	0,3	0,2

При скоростном развертывании деталей из стали используются развертки из твердого сплава марки Т15К6 при нормальной и повышенной жесткости системы СПИД и ТТ10К8Б - при пониженной ее жесткости.

Припуск под развертывание назначается в зависимости от погрешностей формы исходного отверстия и для диаметров обработки 5 - 30 мм он равен 0,1 - 0,5 мм.

При обычном нескоростном развертывании режимы резания снижаются на порядок.

3.5. СМАЗЫВАЮЩЕ-ОХЛАЖДАЮЩИЕ ЖИДКОСТИ ПРИ РАЗВЕРТЫВАНИИ

Составы и назначение СОЖ, а также требования к ним и жидкостному режиму такие же, как и при глубоком сверлении.

Дополнительно могут применяться следующие составы СОЖ:

1. Осерненное масло: веретенное масло- 89%, льняное масло- 10%, сера- 1%.
2. Масляная смесь: льняное масло- 75%, веретенное масло- 25%.
3. Жировая смесь: рыбий жир- 50%, льняное масло- 50%. Первый состав СОЖ применяется для обработки среднеуглеродистых ствольных сталей, второй - для обработки легированных и высокопрочных материалов, третий - для обработки жаропрочных и вязких сталей и сплавов.

Расход СОЖ при развертывании приведен в табл. 3.2.

Таблица 3.2.

Расход СОЖ при развертывании

№ п/п	Диаметр обработки, мм	Подача, мм/об							
		0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45
		Расход СОЖ, л/мин, не менее							
1	до 10	8	10	12	13	14	-	-	-
2	до 20	25	27	32	36	40	45	50	-
3	до 30	68	82	96	105	120	135	150	170

СОЖ подается под давлением 1,5-4,5 МПа, что зависит от калибра ствола, конструкции стебля и принятой схемы развертывания.

4. РАСТАЧИВАНИЕ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

4.1. СУЩНОСТЬ, НАЗНАЧЕНИЕ, СХЕМЫ, СПОСОБЫ И ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА РАСТАЧИВАНИЯ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

Глубоким растачиванием называется процесс обработки глубоких отверстий многорезцовыми и комбинированными инструментами с направляющими элементами.

Глубокое растачивание применяется при изготовлении стволов калибром свыше 30 мм.

В зависимости от технологической сложности изготовления отверстий, предъявляемых требований к точности размеров диаметра и к шероховатости поверхности, все растачиваемые глубокие цилиндрические отверстия делятся на две группы [10, 11]:

1. Отверстия, изготовляемые по 7-9 квалитетам точности, шероховатостью поверхности R_a=0,08-0,032 мкм и отношением $l/d > 50$.
2. Отверстия, изготовляемые по 10-12 квалитетам точности, шероховатостью поверхности R_a=0,63-2,5 мкм и отношением $l/d < 50$.

Как известно, при сверлении глубоких отверстий имеет место увод оси отверстия, что ведет к возникновению уступов на середине длины отверстия при двухстороннем сверлении или к образованию разностенности детали при сквозном сверлении. Кроме того, в процессе термической обработки трубы деформируются, вследствие чего ось отверстия становится искривленной.

Операция растачивания глубоких отверстий предназначена для исправления оси отверстия, удаления большей части припуска ме-

талла, оставшегося после сверления отверстия, придания отверстию правильной геометрической формы (отсутствие конусности, овальности, огранки и т.д.), получение заданной точности и размеров диаметра и требуемой шероховатости поверхности отверстия.

В зависимости от назначения операции растачивание делится на два вида: черновое (предварительное) и чистовое растачивание.

К черновому растачиванию относятся те расточные операции, которые предназначены для исправления оси просверленного отверстия и удаления большей части припуска металла. При черновом растачивании размеры диаметра глубокого отверстия находятся в пределах 12-14 квалитета, шероховатость R_a=10-80 мкм.

К чистовому растачиванию относятся те расточные операции, которые обеспечивают получение правильной геометрической формы, заданной точности диаметральных размеров (7-9 квалитет), требуемой шероховатости поверхности (R_a=0,08-0,32 мкм) при условии сохранения оси отверстия, полученной после чернового растачивания.

По мере необходимости применяют получистовое растачивание, особенно для получения отверстий первой группы.

При растачивании глубоких отверстий, в зависимости от направления действия усилия подачи, различают два основных способа растачивания: растачивание “на сжатие” и растачивание “на растяжение” (см. операцию развертывания).

В оборонной промышленности в настоящее время наиболее широкое применение имеет способ растачивания “на сжатие”, так как применение способа растачивания на “на растяжение” требует наличия станков с полыми шпинделями, выпуск которых очень незначителен (из-за их тихоходности).

Проведенные работы [10] показали, что при растачивании глубоких отверстий с отношением l/d>80 применение способа “на растяжение” обеспечивает большую жесткость инструмента, а следовательно, и лучшее качество расточенного отверстия и большую производительность.

4.2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГЛУБОКОГО РАСТАЧИВАНИЯ

Отечественными станкостроительными заводами и зарубежными фирмами выпускается большое разнообразие станков для растачивания глубоких отверстий. В основном это горизонтальные одношпиндельные стволорасточные (сверлильно-расточные) станки с полу- и автоматическим циклом работы с программным управлением нормальной и повышенной точности. Технические характеристики станков, выпускаемых нашей промышленностью (в частности Рязанским станкостроительным объединением), приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1.

Технические характеристики отечественных станков для растачивания глубоких отверстий.

№ п/п	Параметр	Модель станка		
		РТ-601 (токарного типа)	РТ-605 (вертлюжного типа)	2830П 2В830П 2К830П
1	2	3	4	5
1	Высота центров над станиной, мм	315	500	400
2	Диаметр обрабатываемой заготовки, мм	100-300	125-500	до 500
3	Диаметр обрабатываемого отверстия, мм	40-250	450	40-320
4	Наибольшая длина обрабатываемого отверстия, мм	4000	8000	по заказу
5	Частота вращения,об/мин заготовки инструмента	 40-500 100-630	 16-250 80-500	 40-500 100-630
6	Подача, мм/мин	5-3000 (без ступенчатое регулирование)	5-3000 (без ступенчатое регулирование)	(без ступенчатая
7	Мощность привода изделия, кВт	28	55	20/28
8	Мощность привода инструмента, кВт	30	55	30
9	Максимальный расход СОЖ, л/мин	300	600	по заказу
10	Максимальное давление СОЖ, МПа	2,5	2,5	по заказу

Если после первой цифры “2” буквы нет, то станок токарного типа, если за цифрой “2” следует буква “В”, то станок вертлюжного типа, если буква “К”, то это станок для обработки невращающихся заготовок, а если в конце стоит буква “П”, то станок повышенной точности.

Большое распространение получили такие станки зарубежных фирм: ВЕ4 (SIG), АГ-120 (UTITA), В630В (Boehringer), В800 и В1120 (Wohlenberg), ВТ-80 (Schiess), ВТ-125 (Froriep) и другие.

4.3. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ГЛУБОКОГО РАСТАЧИВАНИЯ

Инструменты, применяемые для глубокого растачивания, называются расточными головками. В зависимости от расположения режущих кромок резцов относительно корпуса расточной головки,

способов крепления резцов в корпусе головки и их количеством, применяемые в специальном машиностроении расточные головки разбиты на следующие типы:

1. С односторонним расположением резцов.
2. С двухсторонним расположением резцов.
3. С расположением резцов по окружности.
4. С плавающей пластиной (или роймой).
5. Комбинированные.

Первый, второй и пятый типы головок работают по методу деления глубины резания, а третий и четвертый - по методу деления величины подачи.

Для подготовки отверстий под растачивание применяются двухрезцовые головки с односторонним расположением резцов (рис. 4.1.). Корпус головки изготовляется из среднеуглеродистой стали типа 45 или 50 и термически обрабатывается до HRC 40-45. Резцы, как правило, оснащены твердосплавными пластинками из Т5К10. Один из резцов затачивается как черновой, второй - как чистовой. Они настраиваются таким образом, чтобы черновой резец срезал припуск (t_1) равный 70 % общего припуска t, а второй - t_2 = 30 %.

Направляющие шпонки изготавливаются из дерева или пластмассы. Выбор материала шпонок определяется диаметром и длиной растачиваемого отверстия, а также режимами обработки. Используются высококачественные сорта дерева: береза, граб, дуб, бук, клен, самшит и бакаут. В настоящее время широко используются текстолитовые направляющие элементы.

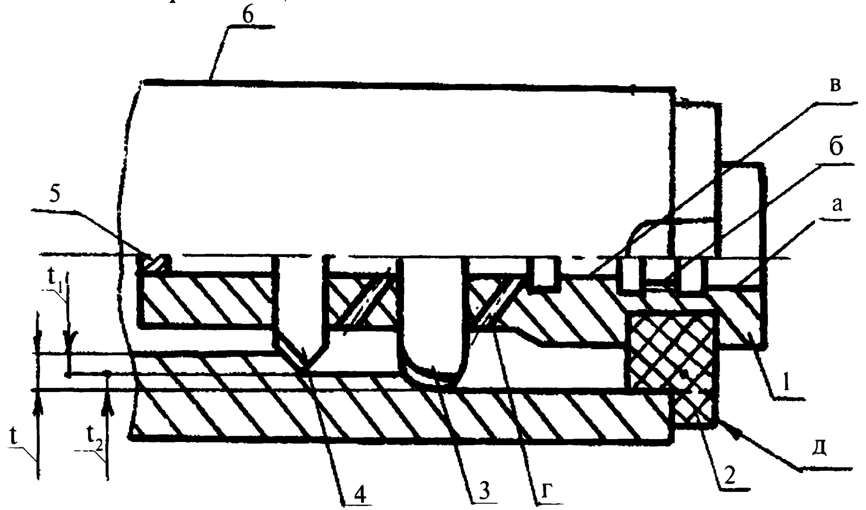


Рис. 4.1. Двухрезцовая расточная головка с односторонним расположением резцов: 1 - корпус головки, 2 - шпонка, 3 - чистовой резец, 4 - получистовой резец, 5 - черновой резец, 6 - пробка, 7 - обрабатываемая деталь

Головка устанавливается и центрируется на стебле станка при помощи гладких направляющих поверхностей “а” и “в” и крепится с помощью резьбы “б”. Смазывающе-охлаждающая жидкость подается к режущим кромкам резцов по наклонным отверстиям “г”.

Такие головки имеют следующие достоинства: небольшая стоимость и простота изготовления. Они нашли широкое применение также при изготовлении опытных образцов, когда изготовление сложного и дорогостоящего инструмента оказывается нерентабельным.

Но такие головки имеют и существенные недостатки: низкая производительность, вследствие применения направляющих шпонок из древесины и пластмассы, которые не позволяют снимать большие припуски за один проход; упругие деформации и износ направляющих шпонок вызывают увеличенный увод оси растачиваемого отверстия и большую конусность, что заставляют выполнять операцию растачивания за несколько проходов; требует применение высококвалифицированной рабочей силы и больших затрат вспомогательного времени на установку, крепление шпонок и резцов в головке перед началом каждого прохода.

Для чернового растачивания (особенно отверстий второй группы) применяются трехрезцовые расточные головки с двухсторонним расположением резцов (рис. 4.2.). Резцы настраивают таким образом, чтобы черновой резец снимал припуск (t_1) равный 50% от общего припуска (t), получистовой снимал припуск (t_2) равный 30% от общего припуска, а чистовой t_3 = 20%. Поскольку усилия резания распределяются равномерно на ту и другую сторону, то в данном случае образуется более правильная геометрическая форма растачиваемого отверстия (увод значительно уменьшается).

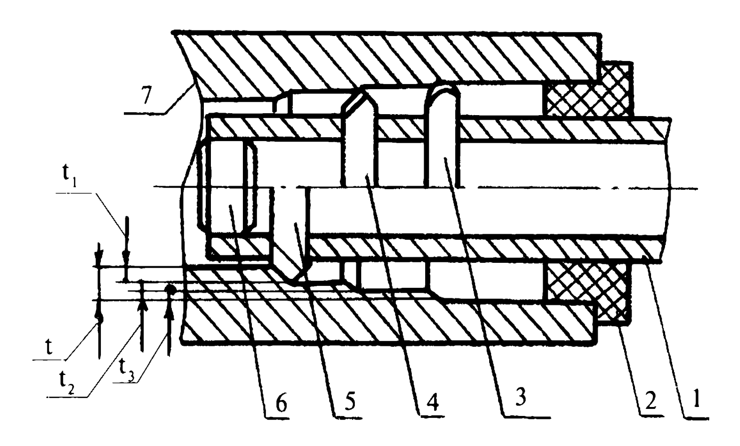


Рис. 4.2. Трехрезцовая расточная головка с двухсторонним расположением резцов: 1 - корпус головки, 2 - шпонка, 3 - чистовой резец, 4 - получистовой резец, 5 - черновой резец, 6 - пробка, 7 - обрабатываемая деталь

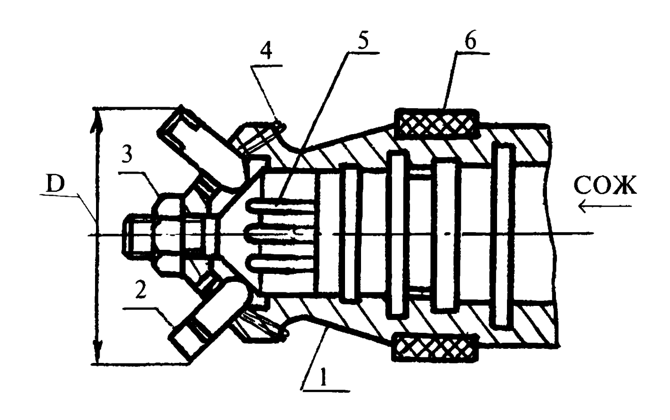


Рис. 4.3. Многорезцовая расточная головка с расположением резцов по окружности: 1 - корпус головки, 2 - резец, 3 - винтовая пара, 4 - винт, 5 - опорный конус, 6 - шпонка направляющая

Для чернового растачивания отверстий первой группы применяются многорезцовые расточные головки с расположением резцов по окружности (рис. 4.3.). Количество резцов может быть от четырех до восьми. Чаще используют восьмирезцовые расточные головки. Настройка резцов на размер "Д" производится путем перемещения опорного конуса 5. На поверхности конуса имеются канавки для пропускания СОЖ и далее по наклонным отверстиям к режущим кромкам резцов.

Для получистового растачивания отверстий первой группы и чистового растачивания отверстий второй группы применяются комбинированные расточные головки (рис. 4.4.). Такие головки имеют основную режущую часть, состоящую из резцов (например, расположенных по окружности), и калибрующую часть, представляющую собой плавающую широколезвийную резец-пластину "В". Причем на основную режущую часть головки приходится 90% от общего припуска на растачивание, а на калибрующую часть - 10%.

Для чистовой обработки отверстий первой группы применяются расточные головки только с плавающей пластиной или роймой (рис. 4.5.). Ройма - это точнорегулируемое специальное приспособление, выполненное в виде двух широколезвийных резцов с настройкой на размер от клинового механизма и расположенных в одном плоском корпусе. Толщина корпуса "H_1" выполняется по размеру паза "H_2" в корпусе головки "А" по скользящей посадке. В корпусе головки имеются два ряда передних и задних направляющих "Б". Плавающая пластина (ройма) не крепится в корпусе головки, но она точно пригоняется по отверстию паза так, чтобы она свободно перемещалась в радиальном направлении и не имела

бы вибраций в процессе резания. Она должна самоустанавливаться в обрабатываемом отверстии.

Необходимо отметить, что направляющие элементы оказывают существенное влияние на работу инструмента и качество обработки, поэтому при разработке новых и совершенствовании применяемых инструментов выбору направляющих элементов должно уделяться большое внимание. Направляющие элементы весьма разнообразны.

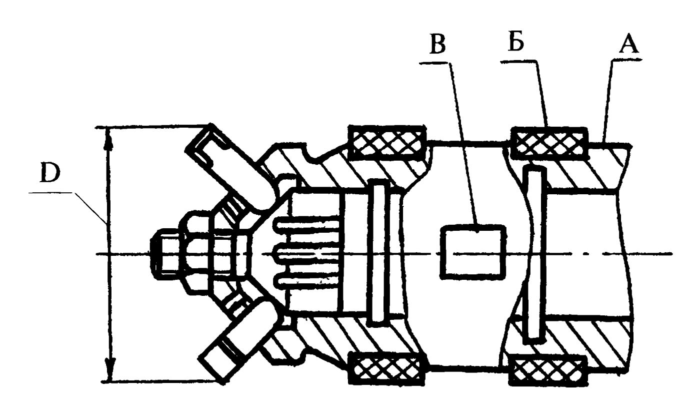


Рис. 4.4. Комбинированная расточная головка: А - корпус, Б - шпонка, В - плавающая пластина

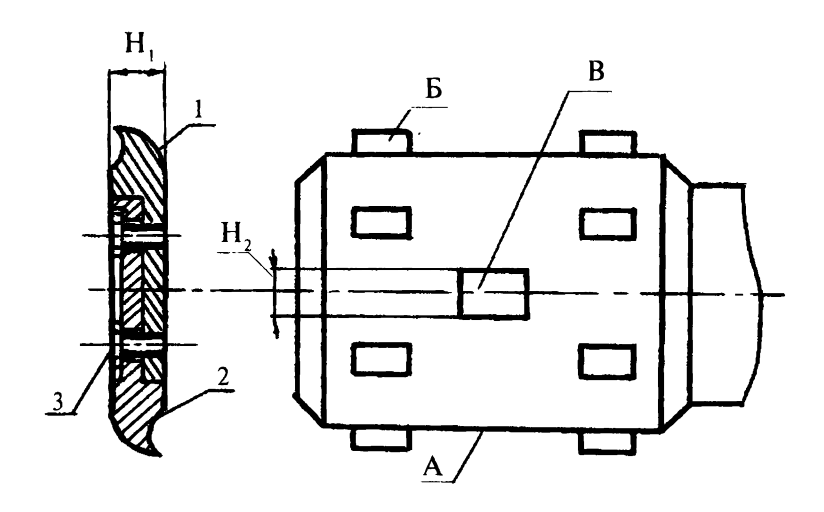


Рис. 4.5. Расточная головка с плавающей пластиной (роймой): 1, 2 - резец, 3 - винт

Жесткие направляющие изготавливают из твердого сплава и в зависимости от функционального назначения устанавливают либо неподвижно на корпусе (неподвижные направляющие), либо на подвижной в радиальном направлении колодке (ограниченно-подвижные направляющие).

Самоустанавливающиеся направляющие представляют собой жесткие направляющие, устанавливаемые в продольных пазах корпуса головки с возможностью поворачиваться в пазу вокруг оси, параллельно оси инструмента. Это достигается за счет выполнения каждого паза в поперечном сечении в виде полуцилиндра и сопряжения его с цилиндрической поверхностью того же цилиндра на установочной поверхности направляющей. Благодаря такому сопряжению направляющей с пазом корпуса направляющая получает возможность самоустанавливаться в пазу при поперечных перемещениях инструмента в обработанной части отверстия. Этим стабилизируются удельные давления на направляющих и повышается виброустойчивость инструмента.

Упругие направляющие изготавливаются из маслостойкой резины, полиуретана, твердых пород дерева и т.д.

4.4. ТЕХНОЛОГИЯ РАСТАЧИВАНИЯ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

На операцию чернового растачивания труба поступает после термообработки, правки и предварительного обтачивания наружной поверхности (рис. 4.6). Перед началом операции чернового растачивания проверяется величина непрямолинейности отверстия. Установочные шейки 1 служат опорными и контрольными поверхностями при выполнении операции растачивания. Количество шеек зависит от длины детали. Точность находится в пределах 11 - 12 квалитетов, шероховатость R_a = 1,25 - 2,5 мкм.

Процесс растачивания глубокого отверстия состоит из следующих основных этапов:

1. Установка, выверка и крепление детали на станке.
2. Подготовка расточной головки.
3. Подготовка отверстия для растачивания.
4. Растачивание глубокого отверстия.

При установке, выверке и креплении ствола на горизонтальном стволорасточном станке необходимо обеспечить совмещение оси вращения трубы с осью шпинделя станка и осью стебля. Методы выверки ствола на расточном станке определяются конструкцией и взаимным расположением шпиндельной бабки и люнетов.

Подготовка расточной головки проводится следующим образом. Если головка имеет два резца, то передний резец затачивается как проходной (черновой), а следующий за ним - как чистовой. При этом проходной резец смещается относительно чистового настоль-

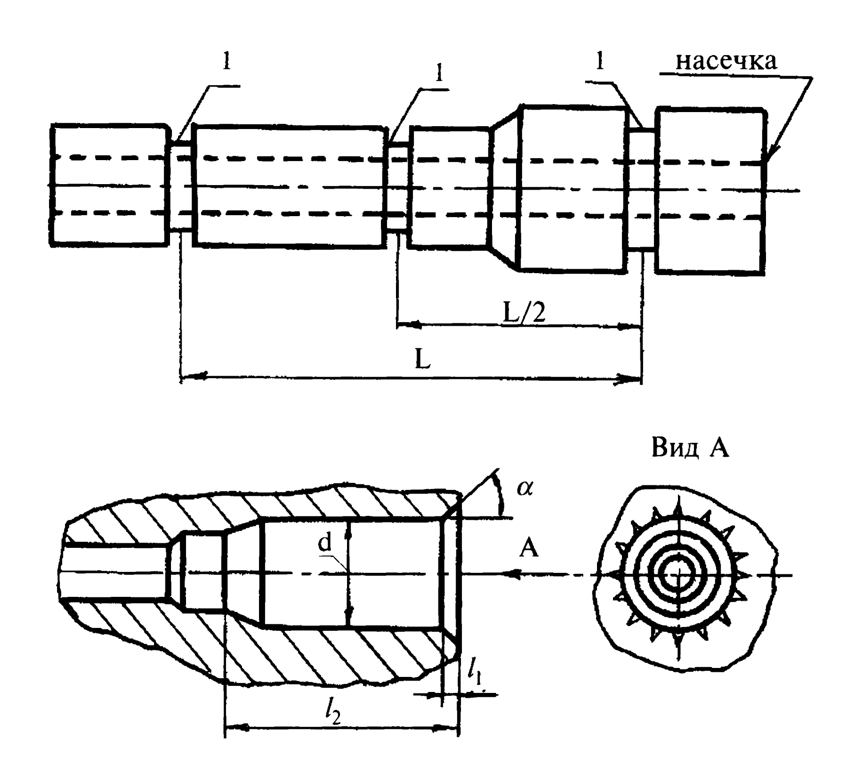


Рис. 4.6. Схема изготовленной трубы под растачивание

ко, чтобы он снимал 70% припуска, а чистовой - 30%. Резцы головки должны быть точно установлены по центру растачиваемого отверстия. Наружный диаметр направляющих шпонок (если они изготавливаются из дерева или пластмассы), прочно закрепляющихся в пазах расточной головки, должен быть больше диаметра отверстия на строго определенную величину. Эта разность в размерах диаметров должна быть равна 1 - 2 мм при черновом растачивании и 0,5 - 1 мм при чистовом и зависит от диаметра обрабатываемого отверстия. Наружная поверхность шпонок после их закрепления в пазах расточной головки обтачивается на станке до требуемого размера и должна быть чистой и гладкой.

Подготовка отверстия под растачивание проводится двухрезцовыми расточными головками с односторонним расположением резцов. Длина растачиваемого отверстия l_2 берется примерно (2-3)d, где d - диаметр растачиваемого отверстия (см. рис. 4.6). Подготовленное таким образом отверстие служит направлением для рабочей расточной головки в начале процесса растачивания.

При растачивании глубоких отверстий для обеспечения надежного направления расточной головки в процессе обработки необхо-

димо, чтобы направляющие шпонки головки входили в растачиваемое отверстие с натягом. Величина натяга берется в пределах 0,05 - 0,03 мм в зависимости от материала направляющих шпонок и диаметра растачиваемого отверстия. Указанный натяг направляющих шпонок получается за счет соответствующего превышения диаметра шпонок относительно диаметра подготовленного отверстия "Д". Припуск по диаметру шпонок срезается при вводе головки в растачиваемое отверстие, для чего на торце детали делается насечка (см. рис. 4.6).

При вращении детали во время ввода головки в отверстие, благодаря насечке на торце детали, происходит срезание припуска направляющих шпонок (см. рис. 4.1, д и 4.2). Требуемый диаметр направляющих шпонок получается благодаря тому, что отверстие под растачивание на длине l_1 = 5 - 6 мм имеет конусный участок под углом α = 5 - 10° (см. рис. 4.6). Если имеет место применение металлических шпонок, то диаметр по шпонкам достигают без натяга.

Управляемая технология растачивания глубоких отверстий должна обеспечивать наиболее высокое качество обработки, особенно минимальный увод инструмента при растачивании.

Динамические модели увода при растачивании невращающимся инструментом с малым расстоянием от калибрующей вершины резца до передних концов направляющих рассматриваются применительно к растачиванию "на сжатие" и "растяжение" невращающимся инструментом одностороннего резания с короткими твердосплавными направляющими с углом между ними 90°. В процессе обработки упругая система "головка-стебель" испытывает кинематическое возмущение с частотой вращения заготовки из-за базирования головки на поверхность, имеющую биение, и силовое воздействие из-за снятия неравномерного припуска за один оборот заготовки. Поступательное перемещение головки от механизма подачи считается совпадающим с касательной к упругой линии стебля в сечении, проходящем через середину пятка контакта направляющих. Расстоянием от калибрующей вершины резца до середины пятка контакта пренебрегается из-за его малости по сравнению с вылетом стебля, так как установлено, что запаздывание в копировании увода не влияет на процесс образования увода. Инструмент, состоящий из расточной головки и стебля, принимается за стержень постоянного поперечного сечения в виде кольца. Крепление стебля в стойке станка считается соответствующим заделке, а опору головки направляющими в отверстии - шарнирно-подвижной опоре. Деформации и колебания заготовки не учитываются. В соответствии с введенными допущениями и принятым механизмом образования увода оси отверстий на рис. 4.7 приведена расчетная схема технологической системы при растачивании "на сжатие". Расчетная

схема “на растяжение” имеет аналогичный вид, за исключением того, что подача S_0, сила P_x и моменты M_y и M_z имеют противоположные направления. При этом использованы следующие обозначения:

0XYZ - неподвижная система координат, ось 0X совпадает с осью вращения заготовки;

0 - место заделки стебля в передней стойке станка (задней части маслоприемника);

0$'$ - точка на оси 0X в сечении, в котором находится шарнирно-подвижная опора инструмента;

$0\xi\eta X_1$ - подвижная система координат, связанная с заготовкой, ось 0ξ совпадает с осью 0X и осью вращения заготовки;

δ_1, δ_2 - горизонтальное и вертикальное смещение направляющей втулки передней стойки относительно оси вращения заготовки соответственно;

γ_1, γ_2 - угловые погрешности расположения упомянутой направляющей втулки относительно оси вращения заготовки в горизонтальной и вертикальной плоскости соответственно;

l - расстояние от места заделки стебля в передней стойке станка до середины пятка контакта направляющих с поверхностью расточенного отверстия;

$r(l)$ - расстояние (увод) центра расточной головки от оси вращения заготовки, центр головки находится на оси головки на расстоянии l от места заделки стебля;

$\tilde{r}(l)$ - расстояние центра переходного отверстия от оси вращения заготовки на расстоянии l от места заделки стебля;

$\alpha(l)$ - угол между вектором $\bar{r}$ и осью 0η, связанной с заготовкой в сечении $X = \xi = l$;

$\tilde{\alpha}(l)$ - угол между вектором $\bar{\tilde{r}}(l)$ и осью 0η в сечении $X = \xi = l$;

ω - угловая скорость вращения заготовки;

τ - время;

S_0 - подача;

P_x - осевая сила, действующая на инструмент;

M_y, M_z - проекции на оси 0_y и 0_z главного момента относительно центра расточной головки силы резания, действующей на головку;

γ - массовая плотность материала стебля;

g - ускорение силы тяжести;

S - площадь поперечного сечения стебля.

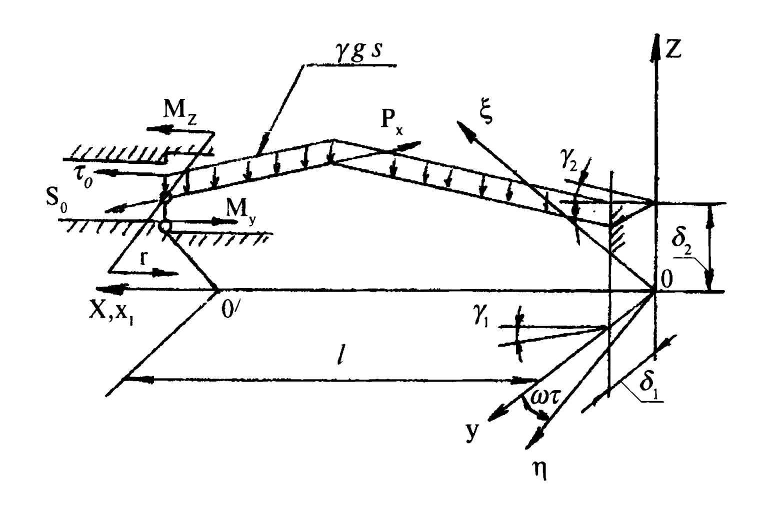


Рис. 4.7. Расчетная схема технологической системы при растачивании

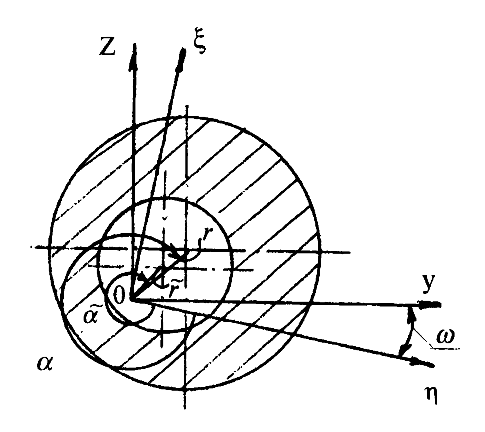


Рис. 4.8. Изменение мгновенной глубины резания при растачивании глубоких отверстий с неравномерным припуском

Предполагается, что силы резания пропорциональны мгновенной глубине резания t, определяемой из рис. 4.8. Тогда проекции главного момента *M* силы резания на соответствующие оси будут равны:

$$\left.\begin{aligned}
&M_y \approx P_z a = k_{P_z} t a = k_{P_z} a t_{cp} + k_{P_z} a (r \cdot \cos(\omega\tau + \alpha) - \widetilde{r} \cos(\omega\tau + \widetilde{\alpha})) = \\
&= M_2 + \frac{M_2}{t_{cp}} (r \cdot \cos(\omega\tau + \alpha) - \widetilde{r} \cos(\omega\tau + \widetilde{\alpha})); \\
&M_z \approx P_x R - P_y a = (k_{P_z} R - k_{P_y} a) t_{cp} + (k_{P_x} R - k_{P_y} a)(r \cdot \cos(\omega\tau + \alpha) - \widetilde{r} \cdot \cos(\omega\tau + \widetilde{\alpha})) = \\
&= M_1 + \frac{M_1}{t_{cp}} (r \cdot \cos(\omega\tau + \alpha) - \widetilde{r} \cos(\omega\tau + \widetilde{\alpha})),
\end{aligned}\right\} \quad (4.1)$$

где α - расстояние, измеренное в направлении оси головки, от калибрующей вершины резца до шарнирно-подвижной опоры головки в отверстии;

R - радиус расточного отверстия;

$t_{ср}$ - средняя глубина резания;

k_{p_x}, k_{p_y}, k_{p_z}- коэффициенты пропорциональности в выражениях для составляющих сил резания ($P_x = k_{p_x} \cdot t$, $P_y = k_{p_y} \cdot t$, $P_z = k_{P_z} \cdot t$).

Рассмотрим расчетную схему технологической системы при растачивании (см. рис. 4.7). Упругая система "расточная головка - стебель" нагружена осевой сжимающей (растягивающей) силой и моментами (4.1), изменяющимися за один оборот заготовки. Учитывая, что используется техническая теория изгиба, ограничимся в рассмотрении постоянной составляющей осевой силы, т. е. P_x^0. Тогда уравнения поперечных колебаний стебля, сжатого (растянутого) осевой силы P_x^0 и находящегося под действием моментов M_y и M_z от силы резания и распределенной нагрузки $\gamma g s$ от массы стебля, будут

$$\left.\begin{aligned}
&EJ\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = -\gamma s \frac{\partial^2 y}{\partial \tau^2} \mp P_x^0 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}; \\
&EJ\frac{\partial^4 z}{\partial x^4} = -\gamma s \frac{\partial^2 z}{\partial \tau^2} \mp P_x^0 \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} - \gamma g s
\end{aligned}\right\} \quad (4.2)$$

с граничными условиями:

$$\text{при} \quad \left.\begin{aligned}
&x = 0 - y = \delta_1;\ z = \delta_2;\ -\frac{\partial y}{\partial x} = \gamma_1;\ \frac{\partial z}{\partial x} = \gamma_2; \\
&x = l - y = r(l) \cos[\omega_\tau + \alpha(l)], \\
&z = -z(l) \sin[\omega\tau + \alpha(l)].
\end{aligned}\right\} \quad (4.3)$$

$$EJ\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}=\pm M_1\left\{1+\frac{1}{t_{ср}}[r\cdot\cos(\omega\tau+\alpha(l)-\tilde{z}\cos(\omega\tau+\tilde{\alpha}(l))]\right\},$$
$$EJ\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}=\pm M_2\left\{1+\frac{1}{t_{ср}}[r\cdot\cos(\omega\tau+\alpha(l)-\tilde{z}\cos(\omega\tau+\tilde{\alpha}(l))]\right\},\qquad(4.4)$$

где $y(x,\tau)$, $z(x,\tau)$ - прогибы сечения x стебля в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно;

$y(x,\tau)\big|_{x=l}$, $z(x,\tau)\big|_{x=l}$ - смещение центра расточной головки с координатой $x = l$ от оси вращения в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно;

$r\cdot\cos(\omega\tau+\alpha(l))-\tilde{r}\cdot\cos(\omega+\tilde{\alpha}(l))$ - переменная составляющая глубины резания;

EJ - изгибная жесткость стебля.

Верхний знак в выражениях (4.2), (4.4) относится к колебаниям стебля при растачивании "на сжатие", а нижний - при растачивании "на растяжение".

Решение задач (4.2), (4.3), (4.4) можно представить в виде:

$$y(x,\tau)=y_0(x)+y_1(x)\cdot\sin(\omega\tau+\alpha)+y_2(x)\cdot\cos(\omega\tau+\alpha)+y_3(x)\cdot\cos(\omega\tau+\tilde{\alpha});$$

$$z(x,\tau)=z_0(x)+z_1(x)\cdot\sin(\omega\tau+\alpha)+z_2(x)\cdot\cos(\omega\tau+z_3(x)\cdot\cos(\omega\tau+\tilde{\alpha}).$$

Слагаемые $y_0(x)$, $z_0(x)$ характеризуют статический прогиб стебля, слагаемые $y_i(x)$, $z_i(x)$ - динамический прогиб стебля из-за базирования расточной головки на поверхность, имеющую биение. Сама головка находится под действием изменяющейся силы резания.

После определения перемещений $y(x,\tau)$, $z(x,\tau)$ стебля в соответствии с принятым механизмом образования увода оси отверстия расточными головками с твердосплавными направляющими будем считать, что мгновенная скорость $\bar{v}_0$ расточной головки в направлении подачи S_0 совпадает по направлению с касательной к мгновенной упругой линии стебля $\bar{\tau}_0$ в центре головки (в шарнирно-подвижной опоре головки в отверстии), т.е.

$$\bar{v}_0 = A\cdot n\cdot S_0\cdot\bar{\tau}^0$$

где n - частота вращения заготовки;

A - масштабный коэффициент, согласующий размерности n и S_0;

$\bar{\tau}^0$ - орт касательной к мгновенной упругой линии стебля в сечении $x=\xi=l$.

Учитывая малость угла, образуемого вектором $\overline{\tau}^0$ с осью 0ξ, проекции скорости расточной головки $\overline{y}_0$ на оси вращающейся системы координат $0\xi\eta x$, связанной с заготовкой, будут равны:

$$\left.\begin{aligned} &\dot{\xi} \approx \pm \nu_0 = \pm A \cdot n \cdot S_0; \\ &\dot{\eta} \approx \pm \nu_0 \left[\left.\frac{\partial y}{\partial x}\right|_{x=\xi} \cdot \cos\omega\tau - \left.\frac{\partial z}{\partial x}\right|_{x=\xi} \cdot \sin\omega\tau \right]; \\ &\dot{\xi} \approx \pm \nu_0 \left[\left.\frac{\partial y}{\partial x}\right|_{x=\xi} \cdot \sin\omega\tau - \left.\frac{\partial z}{\partial x}\right|_{x=\xi} \cdot \cos\omega\tau \right], \end{aligned}\right\} \tag{4.5}$$

где ξ, η, x, - координаты центра расточной головки в системе координат $0\xi\eta X_1$, связанной с заготовкой, причем $\xi = l$; $\left.\frac{\partial y}{\partial x}\right|_{x=\xi}$; $\left.\frac{\partial z}{\partial x}\right|_{x=\xi}$ - малые углы, образованные проекцией на соответствующую плоскость оси головки с осью вращения заготовки 0X. Знак "плюс" относится к процессу растачивания "на сжатие", "минус" - "на растяжение".

Подставим в уравнение (4.5) значения частных производных $\frac{\partial y}{dx}$ и $\frac{\partial z}{dx}$ в точке $x = \xi = l$. Учитывая, что $\nu_0 = \partial\xi / \partial t$, $\tau = \pm \frac{\xi - \xi_0}{\nu_0}$, где ξ_0 - расстояние от места заделки стебля в передней стойке до переднего торца заготовки, исключим из уравнения (4.5) время. Тогда уравнение (4.5) с учетом выражений $r \cdot \sin\alpha = -x_1$, $r \cdot \cos\alpha = \eta$, $\tilde{r} \cdot \sin\tilde{\alpha} = -\tilde{x}_1$, $\tilde{r} \cdot \cos\tilde{\alpha} = \tilde{\eta}$ и после отбрасывания слагаемых, характеризующих некруглость отверстия, примет вид:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{d\eta_i}{d\xi} = \frac{1}{\Delta_i}\left\{\varphi_i \cdot (\xi) \cdot \eta_i \pm \frac{1}{2}\psi_i \cdot (\xi)\left[A_1(\eta_i - \tilde{\eta}) + A_2(x_i - \tilde{x})\right]\right\}; \\ &\frac{dx_i}{d\xi} = \frac{1}{\Delta_i}\left\{\varphi_i \cdot (\xi) \cdot x_i \pm \frac{1}{2}\psi_i \cdot (\xi)\left[-A_2(\eta_i - \tilde{\eta}) + A_1(x_i - \tilde{x})\right]\right\}, \end{aligned}\right\} \tag{4.6}$$

где i=1 и верхний знак действия в выражениях относится к растачиванию "на сжатие", i=2 и нижний знак - к растачиванию "на растяжение";

$$\varphi_i(\xi) = \mu_i \left[2\mu_i \cdot \vartheta_i \cdot \sin\mu_i\xi sh\vartheta_i\xi + (\vartheta_i^2 - \mu_i^2) \cdot (ch\vartheta_i\xi\cos\mu_i\xi - 1)\right];$$

$$\psi_i(\xi) = \frac{1}{\vartheta_i}\left[2\mu_i \cdot \vartheta_i + (\vartheta_i^2 - \mu_i^2) \cdot \sin\mu_i\xi sh\vartheta_i\xi - 2\mu_i \cdot \vartheta_i \cdot \cos\mu_i\xi ch\vartheta_i\xi\right],$$

$$\Delta_i(\xi) = (\mu_i^2 + \vartheta_i^2) \cdot \left(\sin\mu_i\xi ch\vartheta_i\xi - \frac{\mu_i}{\vartheta_i}\cos\mu_i\xi ch\vartheta_i\xi\right);$$

$$\mu_1=\vartheta_2=\sqrt{\frac{k^2}{2}+\sqrt{\frac{k^4}{4}+\chi^4}};$$

$$\mu_2=\vartheta_1=\sqrt{-\frac{k^2}{2}+\sqrt{\frac{k^4}{4}+\chi^4}};$$

$$\chi^4=\frac{\gamma\cdot s\cdot\omega^2}{EJ};\quad k^2=\frac{P_0^x}{EJ};$$

ξ - вылет инструмента от заделки в передней стойке (в задней части маслоприемника);

$\eta_i(\xi)$, $x_i(\xi)$ - проекции вектора увода $\overline{r}(\xi)$ оси расточенного отверстия на оси координат 0η и 0X, связанных с заготовкой;

$\tilde{\eta}(\xi)$, $\tilde{x}(\xi)$ - проекции вектора увода $\bar{\tilde{r}}(\xi)$ оси исходного отверстия на оси координат 0η и 0X;

A_1, A_2 - коэффициенты, $A_1=M_1/(t_{cp}EJ)$, $A_2=M_2/(t_{cp}EJ)$.

Уравнения (4.6) приближенно описывают пространственный увод оси отверстия по длине обработки. Численное значение и фаза вектора увода определяются по формулам:

$$r_i(\xi)=\sqrt{\eta_i^2(\xi)+x_i^2(\xi)};\quad \alpha_i(\xi)=\arccos\frac{\eta_i(\xi)}{r_i(\xi)}.$$

Из моделей увода оси отверстий (4.6) при растачивании могут быть получены модели увода при растачивании без учета осевой силы. В этом случае $\mu_i=\vartheta_i=\chi$ и модель увода пригодна для описания процесса образования увода при обработке коротких заготовок.

Модель (4.6) процесса образования увода может быть использована для количественного анализа точности разработанных технологических процессов, определения параметров технологии, которые необходимо корректировать, и может быть использована в системах управления точностью обработки при управляемом растачивании.

4.5. ДЕФЕКТЫ ПРИ РАСТАЧИВАНИИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

При растачивании глубоких отверстий наиболее распространенными дефектами являются: конусность канала, увод и непрямолинейность оси, неконцентричность (огранка, эллипсность, овальность и т.д.) отверстия, волнистость поверхности отверстия, грубые следы обработки (штрихи, царапины, надиры).

Конусность возникает в результате износа резцов и направляющих шпонок.

Наибольшее влияние на образование и величину увода и непрямолинейности оси оказывает биение поверхности обработанной части отверстия, а также биение направляющей втулки масло-

приемника, если она вращается. Биение отверстия в свою очередь может вызываться рядом причин: собственно уводом оси, короблением заготовки вследствие перераспределения остаточных напряжений в процессе обработки отверстия, деформаций заготовки при закреплении на станке и др.

Огранка глубокого отверстия - отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой многогранную фигуру с числом граней, иногда изменяющимся по длине отверстия, а вершины многогранника при этом часто располагаются по винтовой линии. Процесс образования огранки весьма сложен и протекает при воздействии ряда факторов. Огранка образуется при поперечных колебаниях инструмента с частотой близкой к частоте относительно вращения заготовки и инструмента. При этом на образование огранки влияют частота собственных колебаний инструмента, которая в свою очередь изменяется по мере обработки отверстия, так как изменяется схема закрепления инструмента (изменяется взаимное расположение опор по длине инструмента и стебля); конструктивные параметры инструмента; погрешности настройки технологической системы на операцию; кинематическая схема обработки (вращается или не вращается инструмент) и др.

Волнистость поверхности отверстия - отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие имеют регулярную волнистость, приводящую к ступенчатости отверстия с незначительными перепадами диаметра. Этот дефект образуется при несовпадении диаметра инструмента, вступающего в работу, с диаметром отверстия, на поверхность которого он опирается своими направляющими элементами. Для уменьшения волнистости необходимо добиваться равенства диаметров инструмента и заправочного отверстия и отверстия в кондукторной (направляющей) втулке, а также того, чтобы все инструменты, используемые при смене на протяжении рабочего хода, имели одинаковый диаметр.

Грубые следы обработки возникают вследствие налипания частиц металла на шпонки и режущие кромки инструмента, а также при разрыве пленки СОЖ под направляющими.

4.6. РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ ПРИ РАСТАЧИВАНИИ И СОЖ

Режимы резания при растачивании глубоких отверстий резцами из быстрорежущей стали типа Р6М5 приведены в табл. 4.2.

При скоростных методах растачивания резцами из твердых сплавов типа Т5К10 скорость резания (V) находится в пределах 80-120 м/мин, подача (S) 2-5 мм/об, глубина резания (t) 0,1-0,2 мм для черновой обработки и V=120-140 м/мин, S=5-8 мм/об, t=0,02-0,03 - для чистовой.

Таблица 4.2.

Режимы резания при растачивании

№ п/п	Вид растачивания	Диаметр отверстия	Глубина резания, мм	Обрабатываемый материал, $\sigma_{вр}$, МПА											
				500-600			700-800			900-1000			1100-1200		
				Режимы резания											
				V, м/мин	S, мм/об	n, об/мин	V, м/мин	S, мм/об	n, об/мин	V, м/мин	S, мм/об	n, об/мин	V, м/мин	S, мм/об	n, об/мин
1	Черновое	до 100	до 5	25	0,5	82	22	0,4	72	18	0,3	60	15	0,2	45
2	Чистовое	до 100	до 0,75	20	0,7	70	19	0,6	60	16	0,5	50	12	0,4	40

В качестве СОЖ при растачивании применяются жидкости типа "МР" (см. операцию сверления). Могут также применяться для чернового растачивания 5-10% раствор эмульсола или сульфофрезола в воде или керосине, а для чистового - минеральное масло с добавками керосина.

Давление СОЖ находится в пределах 0,5-1,0 МПа. Расход жидкости 60 - 80 литров в минуту.

4.7. РАСТАЧИВАНИЕ ГЛУБОКИХ КОНИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ

Трубы с каналами переменного сечения по длине применяются для стволов артиллерийских орудий и для скрепляющих элементов (кожухов, оболочек, колец и т.д.)

Конусность канала (k) определяется по следующей зависимости:

$$k = \frac{d_1 - d_2}{l} = 2tg\alpha,$$

где $d_1 - d_2$ - соответственно наибольший и наименьший диаметры конического канала; l - длина канала; α - угол конуса.

Если конусность канала k = 0,002 - 0,004, то диаметр d_1 будет больше диаметра d_2 на 2 или 4 мм на длине канала в 1 метр.

Каналы бывают: одноконусные (рис. 4.9,а), двухконусные (рис. 4.9,б) и цилиндро-конические (рис. 4.9,в).

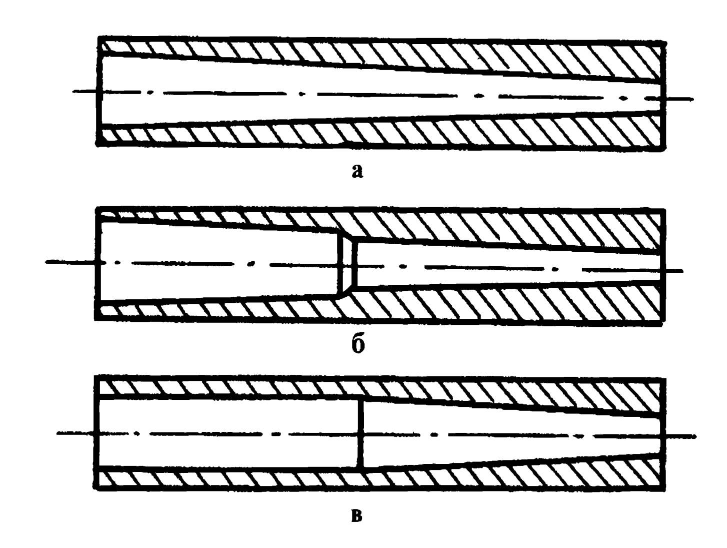


Рис. 4.9. Конструктивные схемы одноконусного (а), двухконусного (б) и цилиндро-конического (в) стволов

Перед растачиванием конического отверстия стволы должны пройти следующие операции механической обработки:

черновое и получистовое обтачивание наружной поверхности;

черновое растачивание цилиндрического канала. Цилиндрический канал должен иметь минимальные величины непрямолинейности, разностенности и огранки ввиду того, что канал служит технологической базой для инструмента при растачивании конического глубокого отверстия.

При растачивании конических отверстий существует две технологических схемы:

последовательное растачивание конических участков на длину l_1, l_2 и т.д. и удалении припуска t_1, t_2 и т.д. (рис. 4.10,а);

последовательное растачивание за несколько проходов цилиндрических участков на длину l_1, l_2 и т.д. и удаление припуска t_1, t_2 и т.д., а затем растачивание на конус по всей длине ствола (рис. 4.10,б).

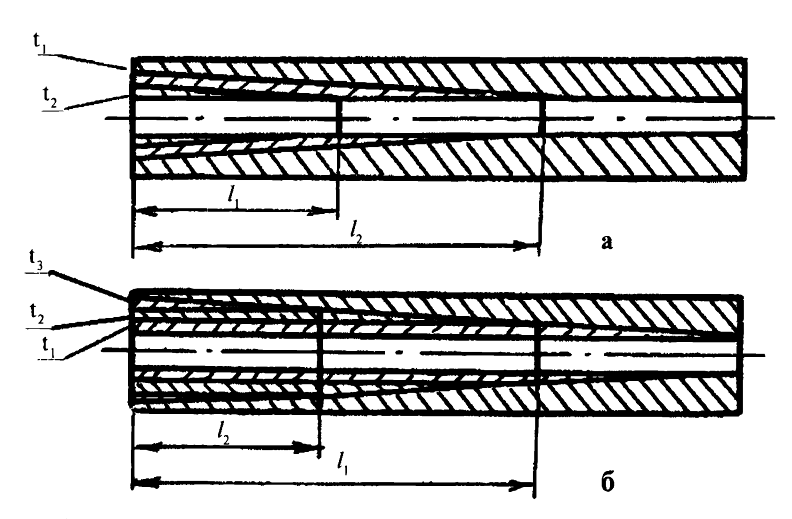


Рис. 4.10. Технологические схемы растачивания конических стволов: а - последовательное растачивание конических участков, б - цилиндрических участков

Первая схема применяется при обработке одно- и двухконусных отверстий, а вторая - при обработке цилиндроконических.

Однако вторая схема имеет следующие недостатки:

для каждого прохода необходима самостоятельная технологическая подготовка, как для отдельной операции;

на последнем чистовом проходе толщина снимаемого слоя металла не будет одинаковой и условия резания будут неудовлетворительными, а это окажет на точность обработки;

большое вспомогательное время, а следовательно низкая производительность.

Растачивание конических отверстий всегда начинается с той стороны, которая имеет больший размер диаметра и заканчивается на стороне, имеющей меньший диаметр.

Для растачивания глубоких конических отверстий применяются приборы и приспособления различной конструкции:

с наружным и внутренним копирами;

с наружной продольной рейкой;

с клином (клиновые приспособления).

Приспособление с пазовым внутренним копиром (рис. 4.11) изготавливается на всю длину ствола и устанавливается в канале неподвижно. Движение подачи сообщается только широколезвийному резцу с колодкой при помощи тяги. Такие приспособления не получили большого распространения вследствие громоздкости и сложности.

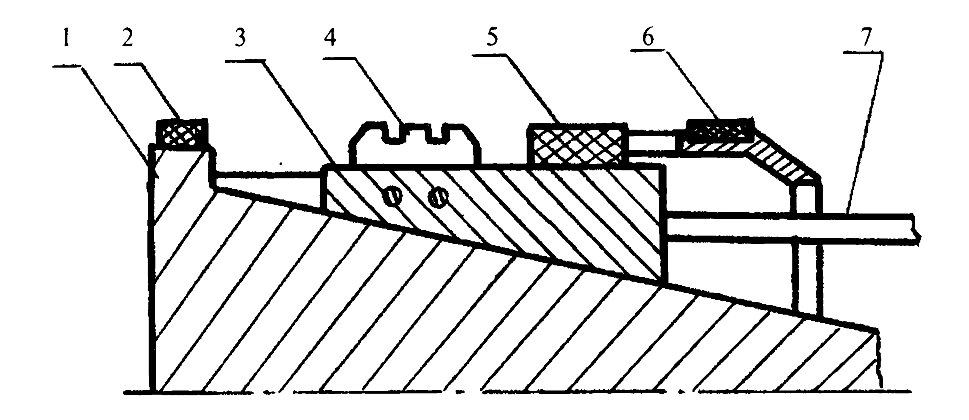


Рис. 4.11. Приспособление с пазовым внутренним копиром: 1 - корпус, 2, 6 - неподвижные направляющие шпонки, 3 - колодка резцовая, 4 - резец, 5 - подвижная направляющая, 7 - тяга

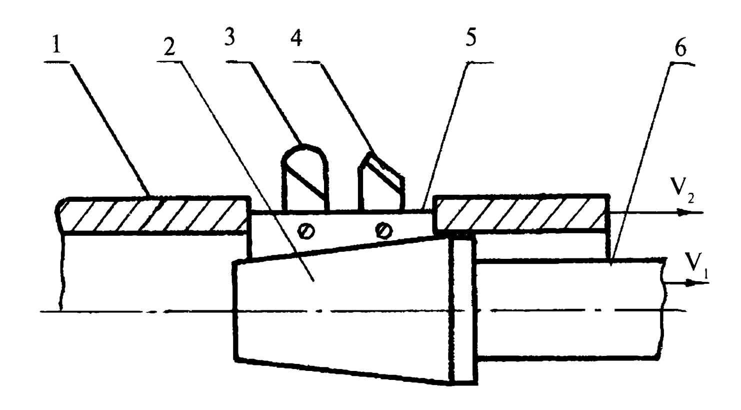


Рис. 4.12. Клиновое приспособление: 1 - корпус, 2 - клин, 3 - чистовой резец, 4 - черновой резец, 5 - колодка, 6 - тяга

Наибольшее распространение получили клиновые приспособления (рис. 4.12). Они просты по конструкции, надежны в работе и малогабаритны. Перед растачиванием клин должен иметь крайне левое положение, а в конце растачивания - крайнее правое положение. Скорость перемещения тяги (v_1) больше скорости перемещения корпуса (v_2).

5. ПРОТЯГИВАНИЕ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

5.1. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ПРОТЯГИВАНИЯ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

Протягивание глубоких отверстий представляет собой процесс обработки отверстий резанием многозубыми кольцевыми или винтовыми инструментами (протяжками).

Развертывание (растачивание) каналов стволов, несмотря на улучшение качества поверхности при существенном увеличении производительности, все же не является окончательной операцией, подготавливающей канал ствола под образование нарезов. Независимо от высокого качества незначительные поперечные штрихи обработки на поверхности канала после развертывания (растачивания) недопустимы при образовании нарезов. Протягивание канала режущими протяжками устраняет эти недостатки.

При протягивании инструмент-протяжка совершает поступательное и вращательное движения соответственно шагу нарезов в канале ствола и таким образом оставляет винтовые следы обработки. Кроме того, операция протягивания производительна, обеспечивает высокую точность и качество поверхности.

Подбор комплекта протяжек позволяет протягивать канал непосредственно после глубокого сверления. Однако необходимость правки стволов перед протягиванием требует после глубокого сверления применения операции развертывания (растачивания).

В технологическом процессе изготовления ствола операция протягивания имеет различное назначение:

обработка гладкого канала под образование нарезов;

образование нарезов;

окончательная обработка (калибрование) полей и нарезов.

Соответственно назначению операции протягивания оборудование и инструмент имеют свои отличительные особенности [12].

5.2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГЛУБОКОГО СВЕРЛЕНИЯ

Для протягивания глубоких отверстий применяются однопозиционные горизонтальные и вертикальные станки с автоматическим режимом работы [13] и могут встраиваться в автоматические линии. Приводы станков гидравлические. Регулирование скоростей рабочих и холостых ходов бесступенчатое. Технические характеристики станков для протягивания отверстий приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1.

Технические характеристики протяжных станков

№ п/п	Параметр	Модель станка						
		Горизонтальные				Вертикальные		
		7Б53	7Б54	7Б55	7Б57	7Б64	7Б65	7Б66
1	Тяговое усилие, кН	25	50	100	400	50	100	200
2	Наибольшая длина хода салазок, мм	1000	1000	1250	2000	1000	1250	1250
3	Наибольший наружный диаметр обрабатываемой детали, мм	600	-	600	600	-	-	-
4	Диаметр отверстия в планшайбе, мм	75	75	100	180	-	140	-
5	Длина подвода и отвода протяжки, мм	500	-	500	630	-	500	700
6	Скорость рабочего хода, м/мин	1-12	12	15	1-6	1-13	1-12	1-8
7	Скорость холостого хода, м/мин	20-25	20	15	15	-	20	20
8	Мощность электродвигателя, кВт	5,5	10	17	40	13	22	22
9	Габаритные размеры, мм	5500x x1730x x1500	5500x x1300x x1350	6050x x1600x x1500	8600x x2120x x1610	2050x x1195x x2900	3280x x1250x x4400	3440x x1735x x3830
10	Масса станка, мм	4700	5300	5800	15800	2900	7600	8420

Каждый из указанных типов станков может быть модернизирован на заводе-потребителе или выполнен по специальному заказу заводом-изготовителем по оснащению дополнительными копирными устройствами для вращения протяжки в соответствии с шагом нарезов в канале ствола. Если трубная заготовка предназначена для последующего пластического деформирования (например, радиальным обжатием), то данные станки используются без модернизации.

5.3. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ПРОТЯГИВАНИЯ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

При глубоком протягивании каналов стволов применяют две конструкции протяжек: кольцевые и винтовые. Кольцевые протяжки (рис. 5.1) могут быть цельные и сборные. Цельные применяются при обработке отверстий диаметром до 20 мм, а сборные - свыше 20 мм. Припуск снимается комплектом протяжек из 2 - 8 штук.

Передняя часть протяжки имеет резьбу для соединения с тягой. Для того, чтобы при работе протяжка не отвинчивалась, резьба делается левой.

Передняя направляющая служит для направления протяжки в начале работы, а задняя - на выходе. На направляющих изготавливаются винтовые канавки для пропускания СОЖ к режущим кромкам зубьев.

Режущая часть протяжки имеет 8-10 зубьев, на которых образованы стружкоделительные канавки, расположенные в шахматном порядке. Канавки служат как для деления стружки, так и для пропускания СОЖ. По сравнению с обычными в протяжках для обработки глубоких отверстий увеличен шаг зубьев и уменьшена их высота. Подъем зубьев, определяющий толщину срезаемой стружки, составляет 0,005-0,01 мм. Меньшие величины используются для малых калибров, большие - для крупных. Указанные особенности режущей части протяжки вызваны тем, что при протягивании длинных стволов образуется большой объем срезанной стружки, который должен разместиться в пространстве между зубьями, для чего увеличивают шаг зубьев и уменьшают подъем на зуб. При этом необходимо обеспечить прочность тела (стержня) протяжки.

Калибрующая часть имеет 2 - 3 зуба и отличается лишь тем, что здесь нет подъема зубьев и таким образом калибрующие зубья зачищают неровности поверхности после режущей части протяжки.

Задний захват протяжки служит для крепления ее в патроне задней тяговой головки специального автоматического станка при возвращении протяжки в исходном положении.

Кольцевые протяжки в единичном и серийном производствах изготовляют из инструментальных сталей типа 9Х, ХГ, ХВГ, а в массовом производстве - из быстрорежущих сталей типа Р6М5,

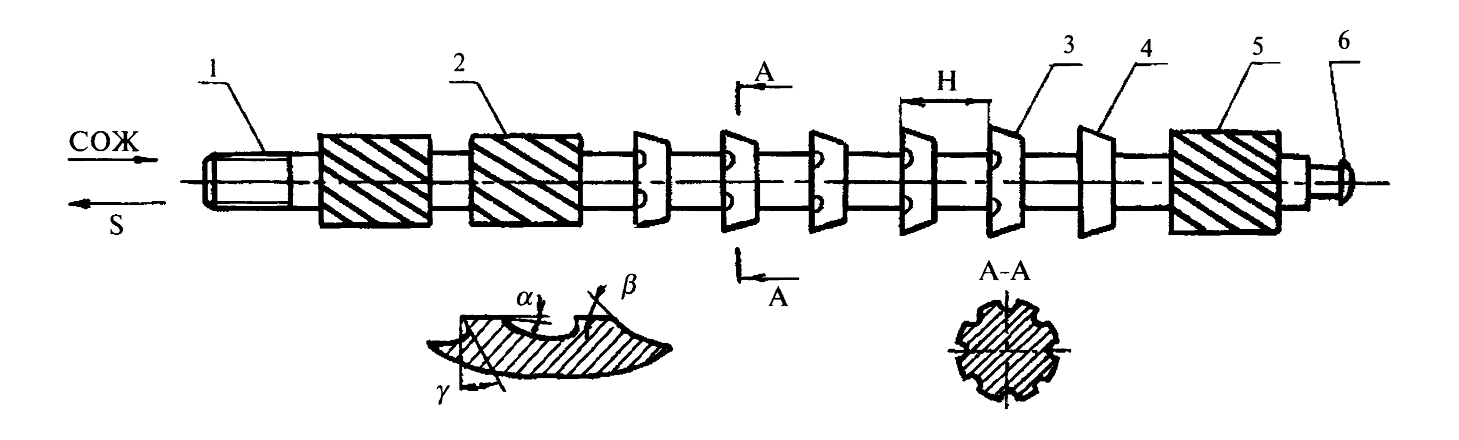


Рис. 5.1. Кольцевая протяжка: 1 - передний захват, 2 - передняя направляющая, 3 - режущие зубья, 4 - калибрующие зубья, 5 - задняя направляющая, 6 - задний захват

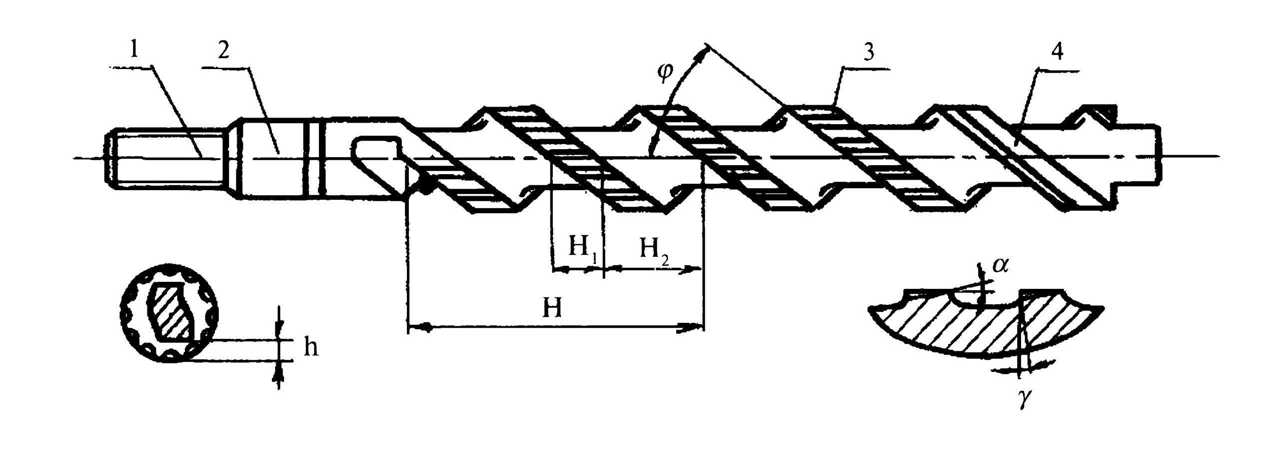


Рис. 5.2. Винтовая протяжка: 1 - передний захват, 2 - передняя направляюшая, 3 - режущая часть, 4 - калибрующая часть

Р6М5К5 и термически обрабатываются до твёрдости HRCэ 55-60. В сборных протяжках кольцевые зубья могут изготовляться из твердого сплава типа Т15К6 или керамики типа В3, ВОК 60.

Кольцевые протяжки имеют существенные недостатки: коробление их при термообработке и не обеспечивается плавность работы.

Поэтому в последнее время взамен кольцевых протяжек используются винтовые (рис. 5.2).

Винтовые протяжки имеют следующие достоинства: обеспечивается непрерывный отвод стружки, значительно уменьшается длина (в 5 - 6 раз), обеспечивается плавность работы и высокая производительность, простота в изготовлении и надежность работы.

Обычно применяются двухзаходные протяжки. В результате образования винтовых канавок режущие кромки располагаются по винтовой линии. Сердцевина протяжки делается на конус с уменьшением размеров и калибрующей части на 0,02-0,03 мм на 100 мм длины. Конусность сердцевины позволяет увеличить пространство между витками, чтобы вместить постоянно увеличивающийся объем стружки при протягивании и обеспечить прочность протяжки во всех сечениях. Расположение режущих кромок по винтовой линии способствует непрерывному отводу стружки и подводу СОЖ к режущим кромкам. Применение двухзаходных протяжек обеспечивает их большую устойчивость, особенно в начальный момент резания при заходе в канал ствола.

Основными характеристиками режущей части являются: шаг винтовой линии (H), форма и размеры канавки для стружки, углы зубьев (α, β, γ, φ), подъем зубьев, число и форма стружкоделительных канавок и длина режущей части протяжки.

Шаг винтовой линии (H) режущих кромок определяется условиями отвода стружки и спокойной работой протяжки, особенно при ее врезании. Эти условия обеспечиваются при угле наклона винтовой линии (φ) равным 40 - 50°.

$$H = \pi \cdot d \cdot tg\varphi ,$$

где d - диаметр протяжки.

Передний угол γ = 10-15°, задний угол 2-3°, угол схода зуба β = 40-50°.

Толщина срезаемой стружки:

$$a = \frac{z}{2 \cdot \frac{l_p}{H} \cdot \frac{\pi \cdot d}{\cos\alpha}} ,$$

или подставляя значение шага винтовой линии:

$$a = \frac{z}{2l_p} \cdot \sin\varphi,$$

где l_p - длина режущей части протяжки,

z - припуск на обработку.

Обычно при протягивании глубоких отверстий a = 0,015-0,04 мм.

Общая длина протяжки: L = (8-10) · d.

Длина калибрующей части для чернового протягивания $l_k = (1,5\text{-}2) \cdot d$, для чистового - $l_k = (2\text{-}3) \cdot d$.

Характерной особенностью калибрующей части протяжки является фаска-ленточка на задней грани. Она предназначена для направления протяжки в задней ее части.

5.4. ТЯГОВОЕ УСИЛИЕ, РЕЖИМЫ РЕЗАНИЯ И СОЖ ПРИ ПРОТЯГИВАНИИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

При протягивании каналов стволов режущими протяжками возникают сравнительные большие тяговые усилия. Знание тягового усилия необходимо для расчета элементов протяжки на прочность и для выбора оборудования. Тяговое усилие зависит от диаметра протяжки, толщины срезаемой стружки, свойств обрабатываемого металла, геометрии и состояния режущих кромок протяжки.

Тяговое усилие определяется по формуле:

$$P = C_p \cdot f^{0,65},$$

где C_p - параметр, учитывающий усилие резания (для ствольных сталей он находится в пределах 1500 - 2500);

f - площадь срезаемого слоя.

Величина удельного давления:

$$P_0 = \frac{C}{f^{0,35}},$$

где $f = \frac{\pi d z}{2} - \frac{\pi d a \cdot l_p}{\sin \varphi}$;

z - общий припуск;

a - припуск, срезаемый зубом протяжки;

l_p - длина режущей части протяжки;

d - диаметр протяжки;

φ - угол наклона зуба.

Скорость резания при протягивании значительно меньше, чем при других видах обработки. В зависимости от обрабатываемого материала, конструкции и материала протяжки, подачи, характера выполняемой работы, требования к квалитету и шероховатости поверхности скорость резания по ствольной стали составляет от 2 до 35 м/мин протяжками из быстрорежущей стали и до 60м/мин протяжками из твердого сплава. При протягивании жаропрочных сплавов скорость резания находится в пределах 10-15м/мин.

Скорость протягивания существенно влияет на производительность процесса. Однако требования к шероховатости поверхности часто не позволяют работать со скоростью более 2м/мин. Поэтому в последнее время строят станки с механизмом, автоматически снижающим скорость движения протяжки до 1,5 м/мин, как только в работу вступают чистовые зубья протяжки.

Выбранная скорость резания выбирается по мощности станка. Потребная мощность двигателя станка (N_g) определяется по известной величине усилия протягивания (P) и назначенной скорости (v), согласно формуле:

$$Ng = 0{,}13 \cdot P \cdot v,$$

где КПД станка принят равным 0,89.

Подача на зуб и ширина среза заложены в конструкции режущей части протяжки и их вида зависит от длины протягивания, обрабатываемого материала, диаметра протягиваемого профиля. Подачи на чистовые зубья берут в размере до 60% от подач на черновые зубья. Для более точных отверстий, требующих очень малой шероховатости поверхности, подачу на зуб уменьшают.

Подача на зуб определяется по следующей зависимости:

$$S_z = 0{,}024+0{,}0012 \cdot d$$

Значение подачи растет с увеличением диаметра отверстия. Величина подачи колеблется от 0,02 до 0,14мм/зуб при обработке отверстий диаметром от 5 до 100 мм.

Ширина среза оказывает значительное влияние на усилие протягивания, условия стружкообразования, размещение стружки в канавке и шероховатости протягиваемой поверхности.

Протягивание жаропрочных сплавов осуществляют протяжками, изготовленными из быстрорежущей стали типа Р9Ф5 и твердого сплава ВК6М и ВК8М. Геометрия зубьев: передний угол $\gamma=15°$, задний угол режущих зубьев α_p = 3-5°, задний угол калибрующих зубьев α_k = 2-3°. Для протяжек или секций протяжек, допускающих регулировку размеров после переточки, целесообразно с целью увеличения стойкости повышать угол α_p до 10-12°. Скорость резания для чернового и чистового протягивания составляет 1,5 - 2 м/мин. Подача на зуб: для чернового протягивания 0,04 - 0,08 мм, для чистового протягивания 0,02 - 0,03 мм.

В качестве СОЖ применяются следующие эмульсии:

1. Веретенное масло (84,5%), канифоль (10%), кальцинированная сода (0,5%), вода (5%).

2. Осерненное растительное масло (10%), веретенное масло (10%), 1,5%-ный водный раствор кальцинированной соды (80%).

Первый состав эмульсий применяется для чернового протягивания, а второй - для чистового.

Кроме эмульсий, при протягивании применяются для чистовой обработки осерненные масла на растительной основе.

СОЖ подается под давлением от 0,5 до 2 МПа, расход жидкости от 0,75 до 2 литров в минуту для калибров до 30 мм.

6. ХОНИНГОВАНИЕ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

6.1. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ХОНИНГОВАНИЯ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

Хонингование представляет собой процесс суммарного микрорезания металла, когда в процессе резания участвует большое количество абразивных зерен при наличии обилия СОЖ.

Однако было бы принципиально неверным и ошибочным приравнивать процесс хонингования процессу шлифования, так как условия работы абразивного зерна при хонинговании совершенно отличны от условий работы абразивного зерна при шлифовании. В отличие от шлифования процессу хонингования свойственны следующие специфические особенности:

большая поверхность контакта абразивного материала с обрабатываемой поверхностью;

незначительная величина удельного давления абразивных брусков и скорости резания;

большое количество одновременно работающих зерен;

образование незначительного количества тепла;

особые условия образования и удаления стружки;

наличие большого количества СОЖ специального состава.

Хонингование производится по двум схемам:

хонинговальная головка имеет вращательное и возвратно-поступательное движение, а заготовка остается неподвижной;

хонинговальная головка имеет вращательное и возвратно-поступательное движение, а обрабатываемая заготовка вращается в противоположном к вращению головки направлении.

В результате сложного движения режущие зерна абразивных брусков описывают винтовые линии, которые при пересечении дают сетку следов резания (рис. 6.1). Отдельные режущие зерна не повторяют пройденного пути ввиду нулевой скорости возвратно-поступательного движения в начале и в конце рабочего хода головки. Сочетание сложного возвратно-поступательного движения с вращательным движением должно быть таким, чтобы внутренний угол (α) линии следов режущих зерен был в пределах 80 - 100°.

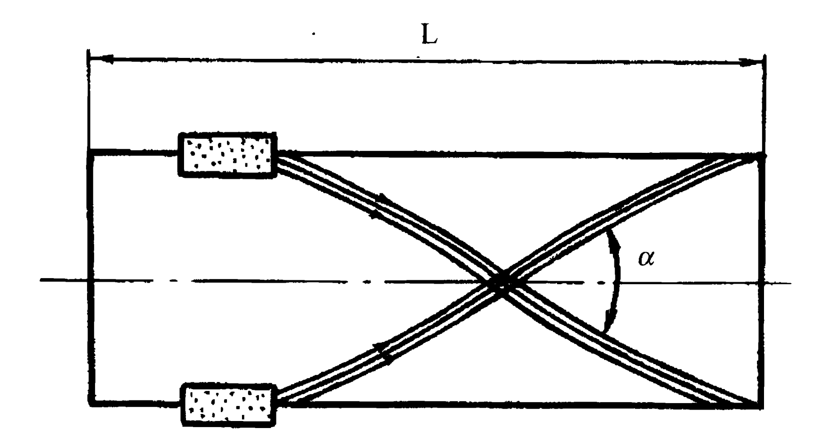


Рис. 6.1. Сетка следов резания при хонинговании

Процесс хонингования является одним из наиболее производительных и надежных способов финишной обработки глубоких отверстий [14], позволяющий обеспечить высокую точность диаметра (6-7 квалитет) и малую шероховатость поверхности (R_a = 0,08 - 0,32 мкм).

6.2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ХОНИНГОВАНИЯ

Хонингование глубоких отверстий проводится на специальных горизонтальных или вертикальных одно- или двухшпиндельных станках с автоматическим циклом работы.

Для обработки отверстий диаметром до 30 мм, длиной до 1500 мм применяются модернизированные горизонтальные станки модели ССМ3, вертикальные модели ОФ68 и специализированные двухшпиндельные вертикальные станки-автоматы модели Х-1.

Технические характеристики станка модели Х-1:

1. Количество одновременно обрабатываемых деталей... 2
2. Количество синхронно-вращательных шпинделей:
   верхних... 2
   нижних... 2
3. Частота вращения шпинделей, мм.......................... 400, 500, 800
4. Расстояние между осями шпинделей, мм................ 200
5. Расстояние от осей шпинделя до поверхности стола, мм.. 100
6. Расстояние между торцами шпинделей, мм.............. 1000 - 1700
7. Габаритные размеры поверхности стола, мм............ 250 x 500
8. Наибольшее перемещение стола, мм........................ 700
9. Пределы величин дискретных перемещений

пиноли за двойной ход стола, мм.............................. 0 - 0,1
10. Количество электродвигателей.............................. 4
11. Электродвигатель главного движения
тип... 4А112МА643
мощность, кВт... 3
12. Давление жидкости в гидрооборудовании станка,
кПа... 1000 - 2000
13. Габаритные размеры станка, мм
длина... 1450
ширина.. 1850
высота.. 2900
14. Масса станка, кг.. 2500

Хонингование глубоких отверстий в стволах большого калибра (свыше 30 мм) проводится на горизонтальных модернизированных сверлильно-расточных станках.

6.3. ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ХОНИНГОВАНИЯ

Хонинговальные головки для обработки глубоких отверстий отличаются от хонинговальных головок, применяемых в общем машиностроении, большим количеством рядов брусков, а следовательно и общим числом брусков в головке и наличием передних и задних дополнительных направляющих устройств в корпусе головки.

Если обычные хонинговальные головки имеют один ряд брусков, то для глубокого хонингования применяют по 2 - 3 ряда в зависимости от длины и диаметра хонингуемого отверстия. Число абразивных брусков в каждом ряду колеблется в пределах от 4 до 12.

Для обработки цилиндрических отверстий применяются механические хонинговальные головки, представленные на рис. 6.2, а для обработки конических отверстий - на рис. 6.3.

Для обработки цилиндрических, цилиндро-конических, конических и профильных отверстий применяются пневматические головки, представленные на рис. 6.4. Давление брусков на обрабатываемую поверхность сообщается сжатым воздухом (Р = 0,2 - 0,4 МПа).

6.4. ТЕХНОЛОГИЯ ХОНИНГОВАНИЯ

Основным фактором получения высокой производительности и качества обработки при хонинговании глубоких отверстий являются:

окружная скорость хонинговальной головки;

соотношение между окружной скоростью и скоростью возвратно-поступательного движения головки;

характеристика абразивных брусков (зернистость, твердость, материал связки и материал абразивных зерен);

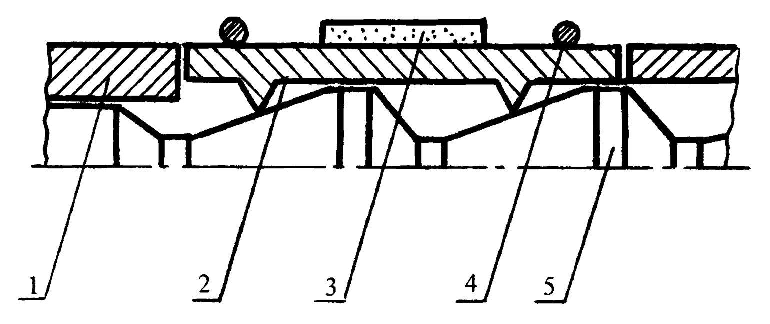


Рис. 6.2. Конструктивная схема хонинговальной головки для обработки цилиндрических отверстий: 1 - корпус, 2 - колодка, 3 - абразивный брусок, 4 - пружинное кольцо, 5 - конусный валик

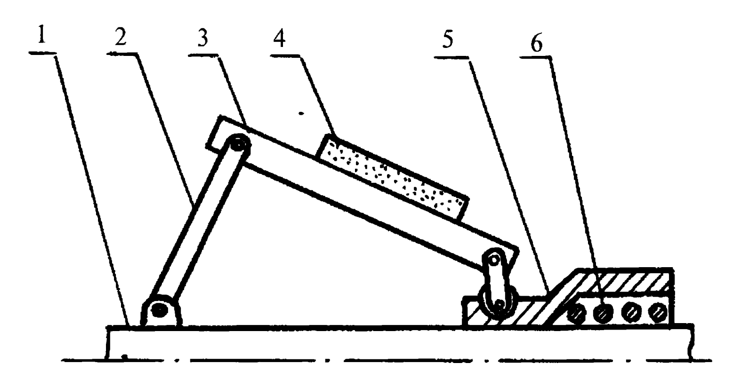


Рис. 6.3. Хонинговальная головка для обработки конических отверстий: 1 - тяга, 2 - рычаг, 3 - колодка, 4 - абразивный брусок, 5 - плунжер, 6 - пружина.

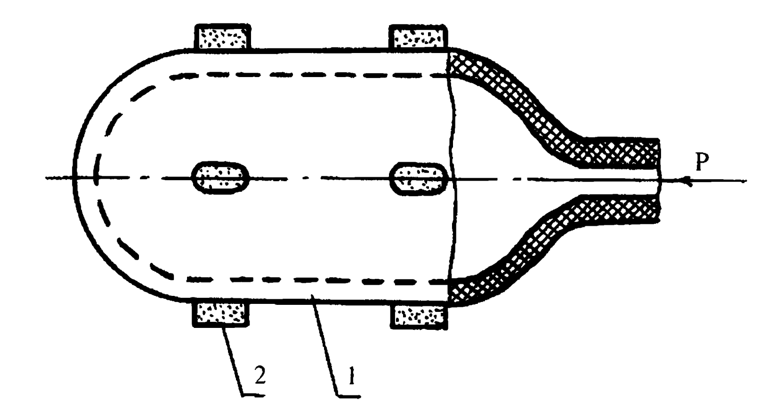


Рис. 6.4. Пневматическая хонинговальная головка: 1 - корпус эластичный, 2 - брусок

величина удельного давления абразивных брусков на обрабатываемую поверхность;

состав и количество СОЖ;

конструкция хонинговальной головки и станка.

В последнее время широкое распространение получило алмазное и электрохимическое алмазное хонингование глубоких отверстий.

Для обеспечения высокой эффективности процесса необходимо с учетом конкретных физико-механических свойств обрабатываемого материала, требуемой шероховатости поверхности, диаметра и длины отверстия, возможностей оборудования правильно выбрать зернистость алмазных брусков, марку алмазного порошка и связки, режимы резания, марку СОЖ. Рекомендации по выбору зернистости алмазных брусков приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1.

Выбор зернистости брусков при алмазном хонинговании (для достижения точности Н7 - Н8)

№ п/п	Операция	Параметр шероховатости, Ra, мкм	Зернистость брусков для обработки (ГОСТ 25594-83Е)		
			Стали (чугуна)	Жаропрочных сплавов	Бронзы
1	Черновая	2,5-1,25	315/230 300/160	-	-
2	Получистовая	1,25-0,32	160/125-63/50	125/100-80/63	80/63
3	Чистовая	0,32-0,08	28/20-20/14	40/28-14/10	14/10

Наибольшее распространение при обработке заготовок из стали получили алмазные бруски с металлическими связками М1 и МС15. При чистовом хонинговании хорошие результаты получены при использовании алмазных брусков на вулканитовой связке типа Р9/Р11. Рекомендуется назначать окружную скорость ($v_{окр}$) при черновом хонинговании глубоких отверстий в закаленных ствольных сталях 30-50 м/мин, а при чистовом - $v_{окр}$ = 50 - 60 м/мин. Скорость возвратно-поступательного движения устанавливается максимально возможная с некоторым изменением ее при многопроходном хонинговании. Величина удельного давления (P_0) принимается равной 0,2 - 0,8 МПа, а соотношение окружной скорости и скорости возвратно-поступательного движения головки ($v_п$) - от 2 до 8.

Технологические параметры алмазного хонингования отверстий диаметром до 20 мм и длиной до 1000 мм приведены в табл. 6.2.

Для получения отверстий диаметром 5 - 50 мм повышенной точности (Н6 и Н7) с отношением длины к диаметру более 100 в заготовках из стали твердостью 260 - 400 НВ применяют черновое и чистовое хонингование. Черновое хонингование осуществляют с ис-

пользованием брусков АС6 (АС15) 100/80 - 50/40 М1 со снятием припуска 0,03 - 0,08 мм в зависимости от диаметра обработки. При чистовом хонинговании используют бруски АСМ 40/28 - 28/20 Р9/Р11 со снятием припуска менее 0,01 мм.

Таблица 6.2.

Технологические параметры алмазного хонингования

№ п/п	Параметр	Операция	
		Черновая	Чистовая
1	Хонинговальные бруски АБХ 4х500х2-М1-100	АС6 125/100	40/28
2	Количество	4	4
3	Окружная скорость головки, м/мин	21	21
4	Скорость возвратно-поступательного движения головки, м/мин	12	12
5	Радиальная подача брусков, мм/дв. Ход	0,002-0,0025	0,0005
6	Давление брусков, кПа	800	500
7	Время обработки, мин	2	1
8	Съем металла диаметральный, мм	0,15-0,20	0,02-0,03
9	Погрешность геометрической формы не более, мм (при исходной 0,1 - 0,15 мм)	0,03	0,02
10	Класс шероховатости	7-8	9-10
11	Удельная производительность, г/мин см^2	0,25	0,10
12	Удельный расход алмазов, мг/г	0,50	0,60
13	СОЖ, % (по объему)	90-керосин, 5-масло "Индустриальное 20", 5-олеиновая кислота	
14	Давление СОЖ, МПа	0,1	0,2
15	Расход СОЖ, л/мин	150	200

Радиальная подача брусков при черновом хонинговании 0,005 - 0,02 мм на 5 - 8 двойных ходов головки, при чистовом 0,003 - 0,005 мм. Параметр шероховатости поверхности после чернового хонингования R_a = 0,63 - 1,25 мкм, после чистового - R_a = 0,32 - 0,63 мкм, отклонение от круглости ΔR_{max} = 1 - 3 мкм, конусообразность не более 5 мкм.

В качестве СОЖ применяется 30 %-ный раствор машинного масла в керосине. Давление от 0,1 до 0,2 МПа. Расход СОЖ достигает до 300 л/мин.

7. ПОЛИРОВАНИЕ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ

Полированием называется операция окончательной чистовой (доводки) обработки, выполняемая специальными деревянными или металлическими полировальными головками с рассыпным абразивным порошком или наждачной бумагой.

Если операция хонингования применяется в основном в серийном и массовом производствах, то полирование используется только в единичном и опытном производствах (при изготовлении мелкой серии).

Полирование проводится на специальных горизонтальных одношпиндельных станках модели СП-1 и СП-2 или станках сверлильно-расточной группы.

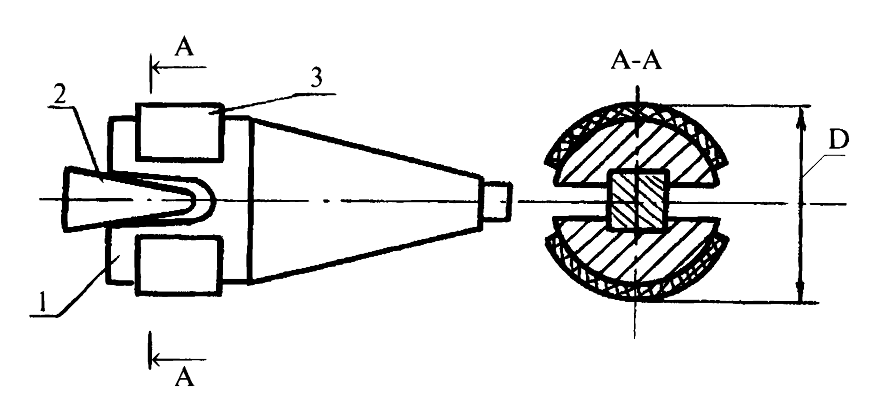


Рис. 7.1. Деревянная полировальная головка: 1 - корпус, 2 - клин, 3 - полирующий элсмент (обтяжка)

Инструментом для полирования является полировальная головка. Для единичного производства полировальная головка (рис. 7.1) изготовляется из дерева (березы, дуба, клена и др.). В качестве полирующего элемента (обтяжки) головок применяется кожа - для чернового полирования и сукно - для чистового полирования.

Полировальная головка крепится в стебле станка. Полирование проводится при неподвижной обрабатываемой заготовке. Вращение и подачу имеет головка вместе со стеблем от специальной подвижной каретки станка.

Полирование может проводится также и при вращении заготовки и одновременном вращении и возвратно-поступательном движении головки.

Технология полирования заключается в следующем. Головка обливается веретенным маслом и на поверхность обтяжки насыпается абразивный порошок (корунд, наждак), после чего головка вводится в обрабатываемое отверстие. Для того, чтобы полирующий элемент головки прижать к поверхности отверстия и создать необходимое давление полирования, головка имеет прорезь, куда забивается деревянный клин.

Недостатки деревянной полировальной головки:

непостоянство рабочего давления при полировании;

потеря времени на остановку станка для восстановления давления;

мягкая основа абразивных зерен делают операцию полирования малопроизводительной.

Некоторым улучшением конструкции являются металлические полировальные головки с винтовым (рис. 7.2,а) или пружинным (рис. 7.2,б) распиранием полирующих кулачков и изготовление полирующего кулачка из свинца. Наиболее эффективна головка с пружинным распиранием кулачков. Кроме распирающего действия плоской пластинчатой пружины, при большом числе оборотов головки развивается довольно большая инерционная сила и кулачки имеют постоянное давление полирования. Поэтому такие головки применяются для полирования цилиндрических и конических отверстий.

Рекомендуются следующие скорости резания при полировании (в м/мин):

$$v = (0{,}6 - 0{,}8) \cdot d\ ,$$

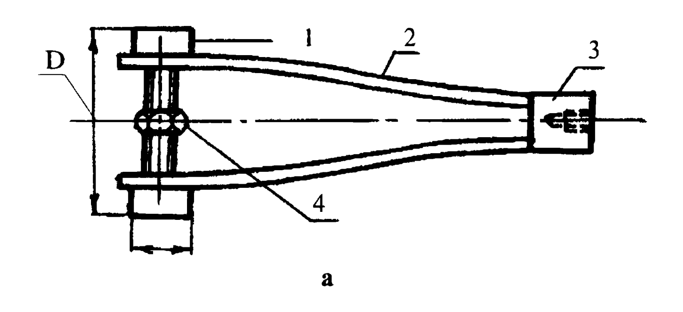
где d - диаметр полируемого отверстия (в мм).

Продольная подача полировальной головки (в мм/об):

$$s \leq 0{,}8 \cdot l,$$

где l - длина рабочей части полирующего элемента (в мм).

При чистовых проходах полирования, когда снимается припуск в пределах 0,003 - 0,005 мм, режимы понижают на 20 - 30 % от режимов чернового полирования.



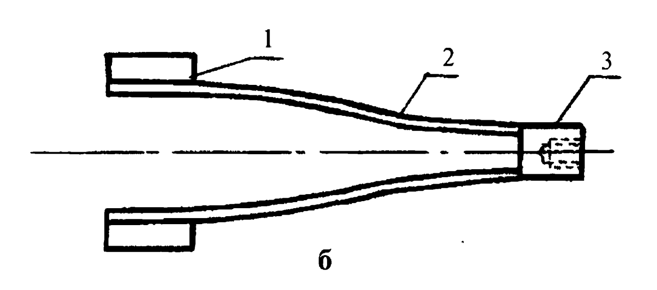


Рис. 7.2. Металлические полировальные головки с винтовым (а) и пружинным (б) распиранием кулачков: 1 - кулачок, 2 - пластина (пластинчатая пружина), 3 - хвостовик, 4 - винтовая пара

Недостатки полирования:

трудно выправить такие дефекты, как конусность и неконцентричность (некруглость) отверстия;

заготовка сильно нагревается (до 200 - 300° С) поэтому ее необходимо охладить;

операция малопроизводительна и антисанитарна.

Достоинства процесса полирования:

простота оборудования и технологической оснастки;
абразивный материал не требует особой подготовки;
достигается высокое качество обработанной поверхности.

8. ОБРАЗОВАНИЕ НАРЕЗОВ ПУТЕМ СНЯТИЯ СТРУЖКИ

8.1. СТРОГАНИЕ НАРЕЗОВ ШПАЛЕРАМИ

Для получения нарезов повышенной точности (6 - 7 квалитет) в стволах калибром до 30 мм применяются крючковые и щеточные шпалеры (shpaller). Различают одно- и двухкрючковые шпалеры (рис. 8.1). Крючковые шпалеры применялись раньше щеточных. Крючковые шпалеры при движении по каналу образуют соответственно один или два нареза. После каждого прохода ствол поворачивается для строгания очередных нарезов с установленным выходом режущей кромки. После прохода по всем нарезам проводится новая настройка кромок на требуемую величину срезаемой стружки. Эти условия работы обуславливают весьма низкую производительность и в настоящее время этот инструмент не применяется.

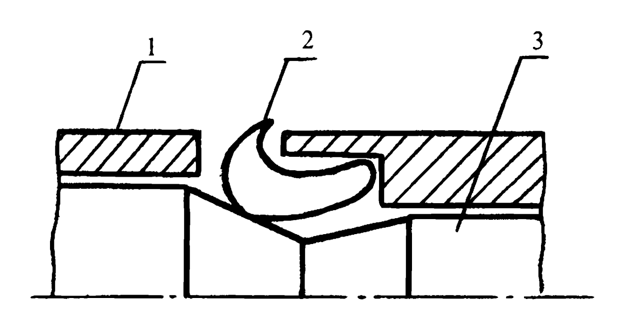


Рис. 8.1. Конструктивная схема крючкового шпалера: 1 - трубка, 2 - крючок (резец), 3 - клин

Наибольшее распространение получил щеточный (многощеточный) шпалер (рис. 8.2). Количество щеток зависит от числа нарезов в канале ствола.

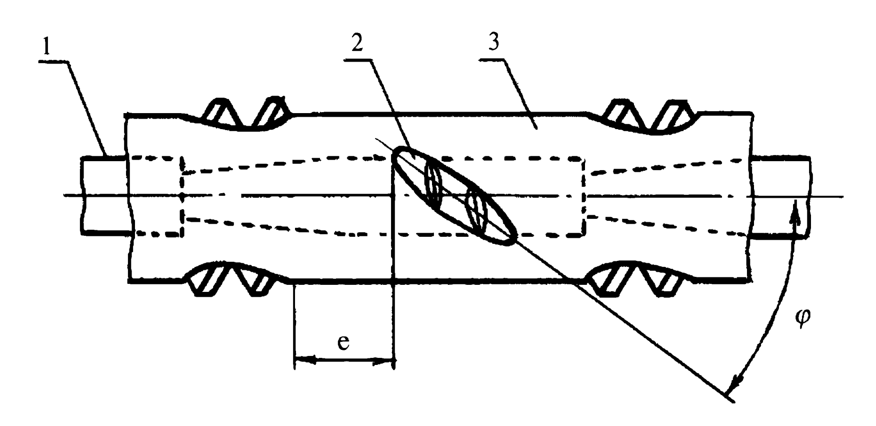


Рис. 8.2. Щеточный шпалер: 1 - клин, 2 - щетка, 3 - трубка

Трубка шпалера служит основанием для сборки остальных деталей. Длина трубки зависит от числа собираемых щеток и их размеров. Расстояние между окнами (*l*), в которых помещаются щетки, зависит от числа нарезов, строгаемых за один проход, и от шага винтовой линии нарезов. Например, для восьмищеточного шпалера, строгающего восемь нарезов за один проход, расстояние между окнами равно 1/8 шага винтовой линии нарезов; для шпалера той же конструкции, но строгающего четыре нареза за один проход, расстояние между окнами также равно 1/8 шага винтовой линии нарезов (каждый нарез при этом образуется двумя щетками). Окна для щеток прорезают по винтовой линии и под определенным углом наклона к оси ствола (φ). При этом угол "φ" не является углом наклона к винтовой линии расположения окон, а представляет собой угол наклона продольной оси резца к оси трубки шпалера по проекции винтовой линии с наружного диаметра трубки на плоскость, проходящую через продольную ось трубки.

Каждая щетка шпалера (рис. 8.3.) состоит из основания и двух резцов. При двух резцах стойкость инструмента повышается и поверхность нарезов получается более чистой. Ширину щетки делают равной ширине нарезов, а длину - 1/16 шага винтовой линии нарезов в канале ствола. Размеры, определяющие толщину основания, подсчитывают таким образом, чтобы верхняя поверхность основания не выступала за наружную поверхность трубки, когда щетка полностью поднята клином, и чтобы после поднутрения основание не было ослаблено, особенно в тонком конце его, во избежание

поломок резцов. Поднутрение к лезвиям делается для увеличения числа переточек и лучшего отвода стружки. Щетки изготовляются винтовыми из сталей типа ХВ5, ХВГ, Х12Ф1М, 9ХС и термически обрабатываются до HRCэ 60 - 65.

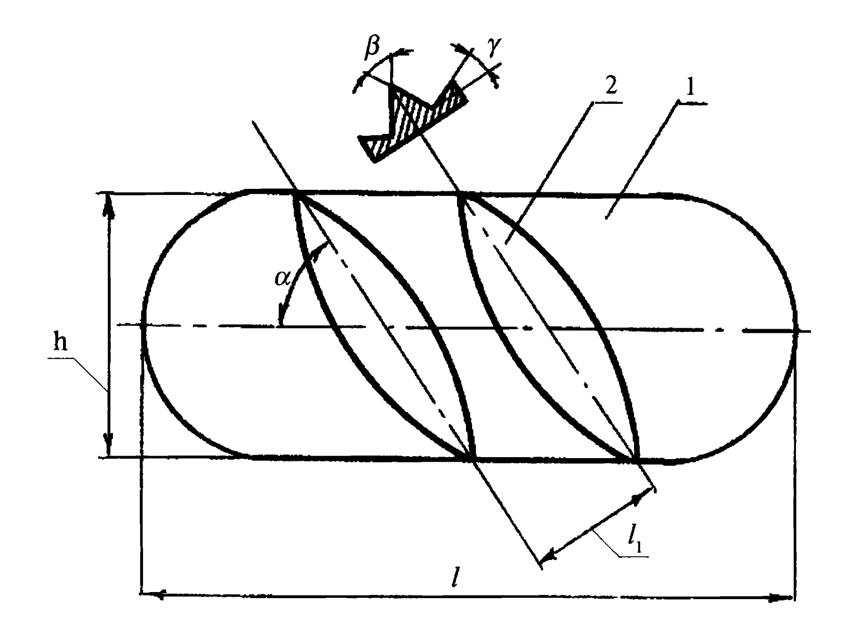


Рис. 8.3. Щетка шпалера: 1 - основание, 2 - резец

Клин (рис. 8.4) является опорой для щеток и предназначен для подачи резцов на толщину срезаемой стружки с каждым проходом шпалера. Вдоль клина для установки щеток сделаны плоскостные срезы под углом α = 1,5 - 2°, расположенные по винтовой линии аналогично окнам в трубке шпалера.

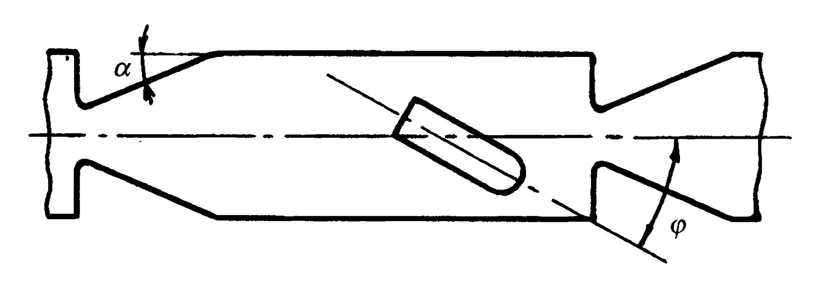


Рис. 8.4. Клин шпалера

Для строгания нарезов шпалером применяются двухшпиндельные горизонтальные стволонарезные станки модели 353ИР с полу- и автоматическим циклом работы. Основными частями и механизмами стволонарезного станка являются: станина, каретка, привод движения каретки, механизм для реверсирования рабочего и холостого ходов каретки, копир, механизм для закрепления и поворота ствола, механизм подачи клина шпалера.

Технические характеристики станка модели 353ИР:

1. Размеры обрабатываемой детали, мм
   внутренний диаметр...5 - 20
   длина...1000 - 1500
2. Шаг нарезов, мм..380 - 420
3. Шаг нарезов со специальной кулисой, мм...........180
4. Поворот детали после двойного хода каретки с инструментом:
   круглое строгание..400
   строгание нарезов
   (число нарезов n = 4, 6, 8, 12, 18).......................3600/n
5. Скорость рабочего хода инструмента
   (бесступенчатое регулирование), м/мин.................5 - 8
6. Скорость холостого хода инструмента, м/мин......15
7. Подача резцов в радиальном направлении за
   двойной ход каретки, мм......................................0,001 - 0,005
8. Общая мощность электродвигателей, кВт............2,4
9. Мощность электродвигателей, кВт:
   гидростанций..2,2
   охлаждения...0,2
10. Габаритные размеры, мм....................................4585x600x795
11. Масса, кг..1800

По мере необходимости для уплотнения полей и нарезов с шагом 380 - 420 мм в канале ствола, полученных строганием, применяются одношпиндельные горизонтальные стволопротяжные станки модели 358ИП. Пределы диаметров обрабатываемых отверстий 5 - 20 мм, длиной - до 1500 мм. Максимальное тяговое усилие 100 кН. В качестве инструмента используется твердосплавная однозубая протяжка.

Режимы резания при строгании нарезов шпалерами: скорость резания находится в пределах 5-10м/мин, подача 0,002-0,003мм/дв. ход.

В качестве СОЖ применяются смеси минеральных и растительных масел с различными активирующими добавками:

веретенное масло (88%), нигрол (10%), сера (2%);

турбинное масло (96 %), льняное масло (3 %), сера (1 %);

веретенное масло (74 %), льняное масло (10 %), нигрол (15 %), сера (1 %).

Первый состав СОЖ применяется для обработки незакаленных ствольных сталей, второй - для закаленных ствольных сталей, третий - для высокопрочных и жаропрочных сталей и сплавов.

8.2. ОБРАЗОВАНИЕ НАРЕЗОВ НАРЕЗАТЕЛЬНЫМИ ГОЛОВКАМИ

Нарезательные головки применяются для образования нарезов в каналах стволов калибром свыше 30 мм. Головки по основным конструктивным и эксплуатационным характеристикам подразделяются на головки с радиальным выдвижением резцов, с круговым выдвижением резцов и с дисковыми резцами.

В головках с радиальным выдвижением резцов, (рис. 8.5,а) резцы выдвигаются по радиусу, что обеспечивает постоянство углов резания при всех глубинах нарезов. Поэтому эти головки могут применяться для получения нарезов всех калибров орудий. Эти головки позволяют получать нарезы более высокого качества, чем головки с круговым выдвижением резцов. Радиальное выдвижение резцов конусным клином позволяет изготовлять головки с большим числом резцов, расположенных как в один, так и в два ряда.

В головках с круговым выдвижением резцов (рис. 8.5,б) резцы устанавливаются на качающиеся резцовые колодки и выдвигаются по кругу радиуса, равному качающемуся плечу резцовой колодки, измеренному от оси крепления до вершины резца. По мере углубления резцов в нарезы углы резания меняются, поэтому эти головки применяются только для получения относительно неглубоких нарезов. Конструкция этих головок допускает количество резцов не больше четырех.

Трудности размещения резцов в многорезцовых головках в одном сечении и сложность изготовления многорядных головок разрешаются применением дисковых резцов (рис. 8.5,в). Эти головки приближаются к протяжке с той разницей, что они имеют сменные дисковые ножи.

По числу резцов нарезательные головки изготовляют от 2 до 24. При этом число резцов делают четным и в большинстве случаев кратным числу нарезов ствола.

По способу утапливания резцов на холостой ход и выдвижения на рабочий ход, а также глубину резания нарезательные установки классифицируются на полуавтоматические, в которых утапливание и выдвижение резцов производится автоматически, а подача на

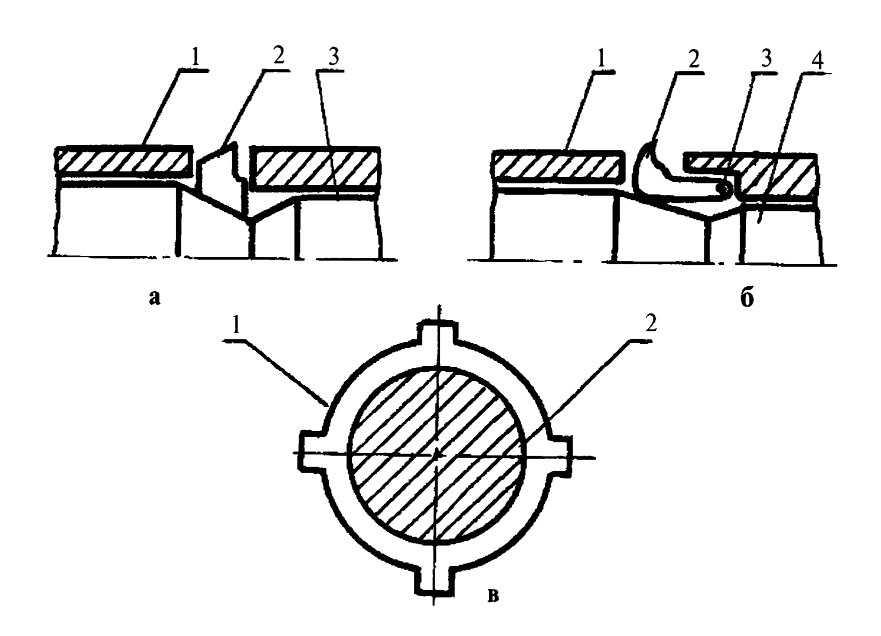


Рис. 8.5. Конструктивные схемы нарезательных головок: а - с радиальным выдвижением резцов (1 - корпус, 2 - резец, 3 - клин), б - с круговым выдвижением резцов (1 - корпус, 2 - резец, 3 - ось, 4 - клин), в - с дисковыми резцами (1 - резец, 2 - стержень)

стружку - вручную, и автоматические, в которых все рабочие приемы автоматизированы.

Образование нарезов производится на специальных нарезательных станках. Особенностью этих станков является совмещение продольного перемещения с вращательным движением головки. Вращательное движение головки по винтовой линии нарезов осуществляется одним из следующих способов:

внешними вертикальными или горизонтальными копирами;

спиральной канавкой на поверхности стебля с крутизной, равной крутизне нарезов в канале ствола;

комбинированными способами, с помощью копира, рейки, набора зубчатых шестерен и т.д.

В отличие от образования нарезов в стволах с цилиндрическим каналом при получении нарезов в конических каналах необходимо иметь утапливание резцов и направляющих головки по конусу нарезаемого канала. Утапливание резцов и направляющих головки по мере перемещения головки по каналу ствола осуществляется дополнительными механизмами.

Для нарезания каналов с переменной шириной нарезов необходимо иметь нарезательную головку с узкими резцами. Образова-

ние нарезов производится за два приема: в первый прием нарезается правая (или левая) грань; во второй прием нарезается левая (или правая) грань нареза.

Режимы резания приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1.

Режимы резания при строгании нарезов многорезцовыми нарезательными головками

Обрабатываемый материал	$\sigma_{вр}$= 700-900 МПа			$\sigma_{вр}$= 1000-1200 МПа		
Ширина резца, мм	до 5	до 10	до 20	до 5	до 10	до 20
Скорость резания, м/мин						
Рабочий ход	Холостой ход			Средняя скорость		
5-10	10-20			7,5-15		
Подача на резец за один двойной ход головки, мм						
Предварительные проходы	0,04	0,05	0,06	0,03	0,04	0,05
Калибрующие проходы	0,02	0,03	0,035	0,02	0,025	0,035

8.3. СТРОГАНИЕ НАРЕЗОВ РЕЖУЩЕЙ ПРОТЯЖКОЙ

Применяются кольцевые и винтовые режущие протяжки. На режущей и калибрующей частях протяжки по общей винтовой линии с шагом, равным шагу нарезов в канале ствола, прорезаны канавки, по ширине равные полям канала ствола. В результате шлицы, образующие режущие зубья, будут прорезать нарезы в канале ствола. Обработка ведется обычно комплектом протяжек. Передние направляющие протяжек имеют направляющие шлицевые выступы, которые при протягивании входят в нарезы ствола, образованные предыдущей протяжкой. Первая протяжка для нарезов таких направляющих выступов не имеет.

Режимы резания, СОЖ и оборудование при протягивании нарезов режущими протяжками такие же, как и при протягивании гладких отверстий.

8.4. ДЕФЕКТЫ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ПРИ СТРОГАНИИ НАРЕЗОВ

При строгании нарезов (особенно шпалерами и нарезательными головками) имеют место следующие дефекты.

Неравномерность начала нарезов в канале. Получается при несовпадении оси патронника (каморы) с осью канала ствола, овальности нарезного конуса, слишком большого зазора между поверхностью канала и направляющими элементами инструмента.

Искривление полей и нарезов. Причинами такого дефекта является неисправное состояние рабочей поверхности копира, загрязнение рабочей поверхности станка, неисправная работа инструмента и механизмов при перемене хода инструмента.

Подрезка боковых граней. Причинами данного дефекта являются неправильная заточка резцов по боковым граням и малый задний угол по боковой грани.

Волнистость по нарезам. Получается от вибрации инструмента во время работы.

Продольные винтовые риски основной причиной которых является налипание частиц металла на режущие кромки инструмента.

Грубые следы обработки из-за выкрашивания режущих кромок, часто приводящие к браку изделия.

Неподбор и развал кромок возникают в результате неправильной заправки инструмента.

9. ОБРАЗОВАНИЕ НАРЕЗОВ ДОРНОВАНИЕМ

Образование нарезов методом дорнования основано на сообщении металлу ствола пластических (остаточных) деформаций при движении по каналу инструмента-пуансона (дорна), имеющего головку с впадинами и выступами соответственно для формирования полей и нарезов в канале ствола.

В зависимости от характера напряжений, испытываемых стеблем инструмента различают две схемы дорнования: "на растяжение" (протягивание дорна) и на "на сжатие" (проталкивание дорна).

При дорновании "на растяжение" (рис. 9.1,а) стебель испытывает деформацию растяжения и кручения. Эта схема была применена первой при исследовании процесса выдавливания нарезов. В настоящее время для формообразования полного профиля нарезов она не применяется, так как не обеспечивается прочность стебля дорна. Схема "на растяжение" применяется только при калибровании полей и нарезов, если они получены путем снятия стружки или электрохимической обработкой. Для этого используются станки типа 358 ИП.

При дорновании "на сжатие" стебель дорна испытывает деформацию сжатия и продольного изгиба. По этой схеме для обеспечения устойчивости и прочности стебля диаметр его должен превышать диаметр канала ствола под дорнование нарезов. Однако диаметр стебля ($d^{//}$) конструктивно принимают немного меньшим диаметра канала ствола по полям после дорнования. Повышение жесткости (устойчивости и прочности) стебля при данной схеме обеспечивается установкой определенного количества направляющих колец - люнетов. По мере вхождения стебля в канал ствола последний выполняет роль непрерывного люнета. Схема дорнова-

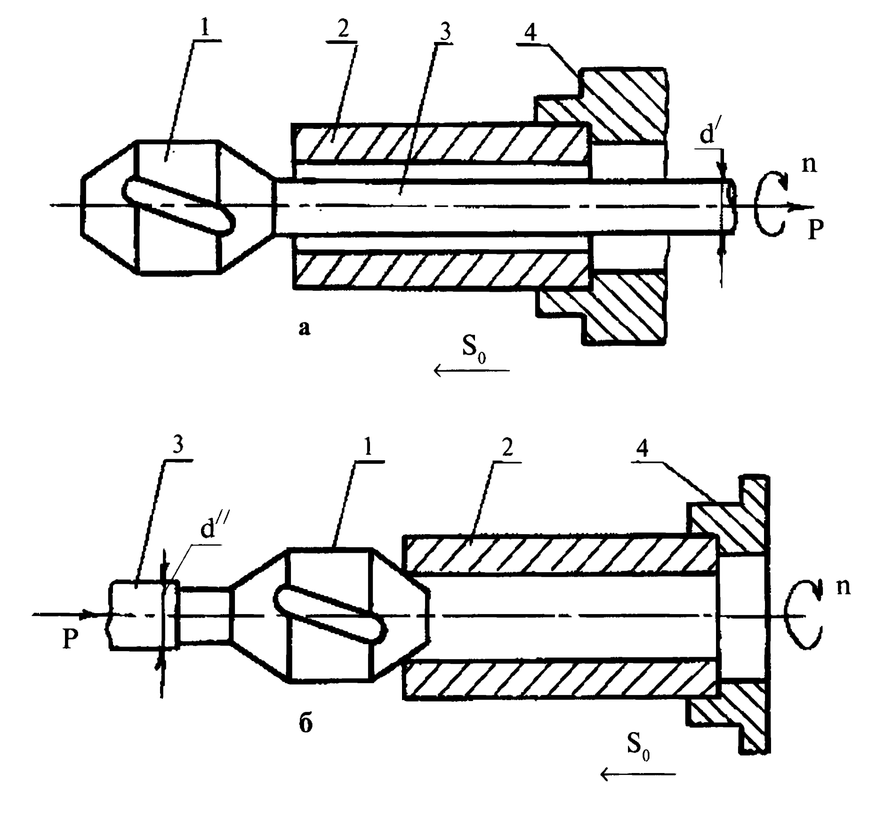


Рис. 9.1. Схемы дорнования нарезов: а - “на растяжение”, б - “на сжатие”

ния “на сжатие” является основной при формообразования полного профиля нарезов и полей за один проход дорна.

Явления, сопровождающие процесс дорнования, аналогичны автофретированию. При проталкивании дорна через канал ствола последний получает упругую и пластическую деформацию, величина которой вследствие ее затухающего характера будет наибольшей у внутренних слоев ствола и наименьшей у наружных. После прохода дорна остается только пластическая деформация, которая определяет размеры канала ствола после дорнования.

На рис. 9.2 показана схема распределения упругой и пластической деформации ствола при дорновании: d_1 - диаметр канала ствола до дорнования, d_2 - диаметр канала ствола по полям после дорнования, d_3 - диаметр дорна по впадинам, d_4 - диаметр канала ствола по нарезам после дорнования, d_5 - диаметр дорна по выступам, d_6 - наружный диаметр ствола до дорнования, d_7 - наружный диаметр ствола после дорнования.

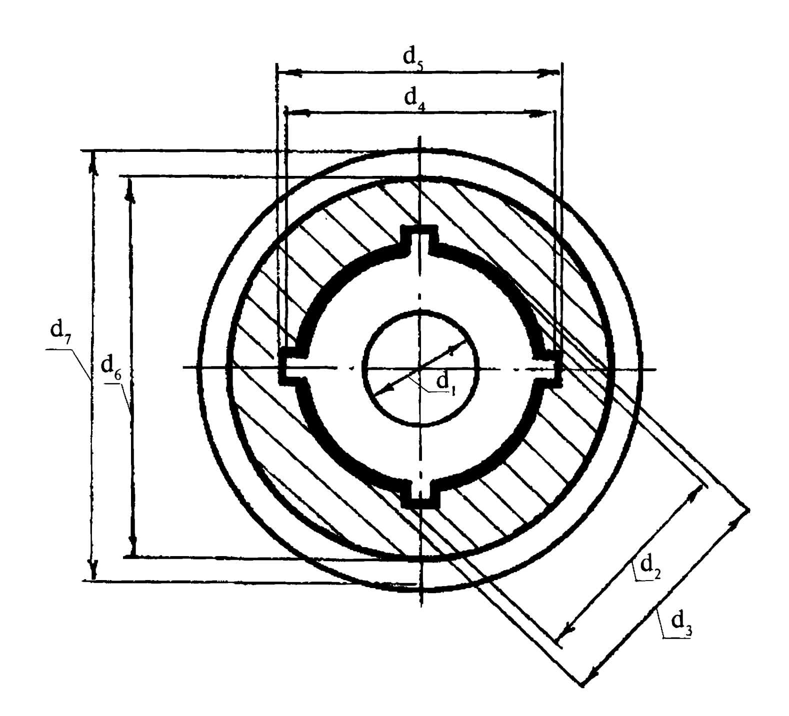


Рис. 9.2. Схема распределения упругой и пластической деформации при дорновании нарезов в канале ствола

Разность между размерами дорна и каналом после дорнования определяет величину упругой деформации ствола (жирный контур на рис. 9.2), а разность между размерами канала после дорнования и до дорнования - величину пластической деформации.

Конструктивная схема дорна представлена на рис. 9.3. Угол заборного конуса "α" находится в пределах 3-8°. Угол обратного (заднего) конуса "α_1" примерно равен углу заборного конуса. Длина калибрующей цилиндрической части равна (0,05-0,1)·d, где d - диаметр дорна по выступам. Общая длина дорна составляет (3-5)·d. Длина направляющей части (0,5-2,0)·d.

Дорн изготовляется: для серийного производства из быстрорежущей стали типа Р6М5, Х12Ф1М и термически обрабатывается до HRC 60-65; для массового производства - из твердого сплава типа ВК15М, ВК20М с целью повышения стойкости. Точность изготовления рабочих поверхностей дорна 6-7 квалитет, шероховатость поверхностей R_a = 0,04-0,08 мкм. При этом точность обрабатываемых отверстий достигает Н7-Н8 при шероховатости поверхности Ra = 0,08-0,16 мкм.

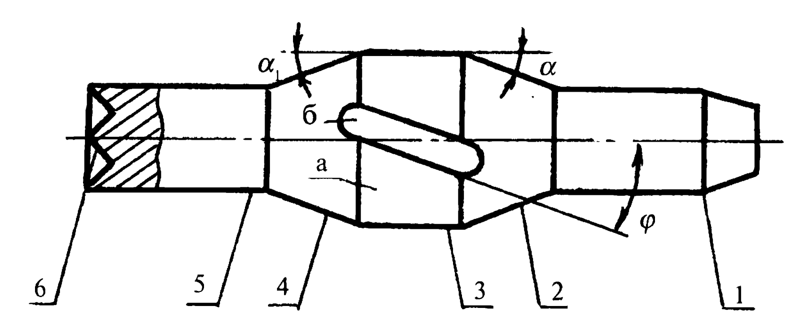


Рис. 9.3. Конструкция дорна: 1 - направляющая часть, 2 - заходный (заборный) конус, 3 - калибрующая часть, 4 - задний конус, 5 - хвостовик, 6 - коническая пятка дорна; а - выступ, б - впадина

Точность обработанных отверстий зависит от многих параметров: разброс размеров диаметров отверстий, полей допусков, натягов, разностенности деталей и т.д.

Предположим, что у данной партии обрабатываемых заготовок наибольший и наименьший диаметры отверстий соответственно равны d_0' и d_0, а поле допуска отверстия заготовки ограничивается величиной δ. Погрешностями размеров наружного диаметра и длиной заготовок пренебрегаем, имея ввиду, что они не оказывают существенного влияния на погрешности обработки отверстия [15]. Значения остаточных пластических деформаций, определяющие размеры отверстий d_0' и d_0, рассчитываются по формулам:

$$(\delta d_0)_{ocm} = \delta d_0 - \frac{2S_0(2D^2+d^2)\cdot d_0}{3E(D^2-d^2)};$$
$$(\delta d_0')_{ocm} = \delta d_0' - \frac{2S_0'(2D^2+d^2)\cdot d_0'}{3E(D^2-d^2)}; \qquad (9.1)$$

где S_0 и S_0' - значения контактного давления в зоне цилиндрической ленточки дорна при обработке заготовок, имевших первоначальные размеры d_0' и d_0; D - наружный диаметр детали; d - диаметр дорна.

Величина поля допуска обработанных отверстий δ_1 равна:

$$\delta_1 = \delta + (\delta d_0')_{ocm} - (\delta d_0)_{ocm} \qquad (9.2)$$

Примем приближенно $d_0 \approx d_0'$, имея ввиду, что колебания размеров отверстия заготовок невелики по сравнению с их абсолютными значениями, и поэтому такое допущение не приводит к существенной разнице в результатах последних членов равенства (9.1).

Тогда, учитывая, что $\delta = \delta d_0 - \delta' d_0$, запишем уравнение (9.2) в виде:

$$\delta_1 = \frac{2d_0}{3E} \cdot \frac{2D^2+d^2}{D^2-d^2} \cdot (S_0 - S_0'). \qquad (9.3)$$

Колебание величины контактных давлений вызывается, в первую очередь, колебаниями фактического натяга, обусловленными полем допуска на размеры отверстий деталей. Колебания значений ускорения, а следовательно, и интенсивностей деформаций E_i намного меньше и ими можно пренебречь.

С учетом этого запишем:

$$S_0 = \frac{b}{\sqrt{3}}\left[1 - e^{-\frac{2}{c\sqrt{3}}\ln\left(1+\frac{\delta d_0}{d_0}\right)}\right]\cdot\left(1-\frac{d^2}{D^2}\right)\times$$

$$\times\left[1 - \frac{1}{18\cdot\frac{D_0}{d_0}\cdot\left(\frac{D_0}{d_0}-1\right)}\right] + \sigma_T \cdot \ln\frac{D}{d};$$

$$S_0' = \frac{b}{\sqrt{3}}\left[1 - e^{-\frac{2}{c\sqrt{3}}\ln\left(1+\frac{\delta' d_0}{d_0}\right)}\right]\cdot\left(1-\frac{d^2}{D^2}\right)\times$$

$$\times\left[1 - \frac{1}{18\cdot\frac{D_0}{d_0}\cdot\left(\frac{D_0}{d_0}-1\right)}\right] + \sigma_T \cdot \ln\frac{D}{d} \qquad (9.4)$$

где b - длина калибрующей части дорна;

e - основание натурального логарифма;

c - коэффициент, зависящий от механических свойств материала обрабатываемой детали;

σ_T - предел текучести материала детали.

Используя допущение $d_0 = d_0'$ и уравнения (9.4), запишем:

$$S_0 - S_0' = \frac{b}{\sqrt{3}}\cdot\left(1-\frac{d^2}{D^2}\right)\cdot\left[1 - \frac{1}{18\cdot\frac{D_0}{d_0}\cdot\left(\frac{D_0}{d_0}-1\right)}\right]\times$$

$$\times\left[e^{-\frac{2}{c\sqrt{3}}\ln\left(1+\frac{i'}{d_0}\right)} - e^{-\frac{2}{c\sqrt{3}}\ln\left(1+\frac{i'}{d_0}\right)}\right]$$

где i - натяг дорнования.

Подставляя это выражение в уравнение (9.3) получим:

$$\delta_1 = \frac{2\,d_0 \cdot b}{3\sqrt{3} \cdot E}\left(2 + \frac{d^2}{D^2}\right) \cdot \left[1 - \frac{1}{18 \cdot \frac{D_0}{d_0} \cdot \left(\frac{D_0}{d_0} - 1\right)}\right] \times$$

$$\times\, e^{-\frac{2}{c\sqrt{3}}\ln\left(1 + \frac{i}{d_0}\right)} \cdot \left(e^{\delta} - 1\right).$$

Разложив e^{δ} в ряд, ограничиваясь двумя первыми членами ряда и проделав элементарные преобразования, получим:

$$\delta_1 = \frac{2\,d_0 \cdot b}{3\sqrt{3} \cdot E}\left(2 + \frac{d^2}{D^2}\right) \cdot \left[1 - \frac{1}{18 \cdot \frac{D_0}{d_0} \cdot \left(\frac{D_0}{d_0} - 1\right)}\right] \times$$
$$\times \left(1 + \frac{i}{d_0}\right)^{-\frac{2}{c\sqrt{3}}} \cdot \delta; \tag{9.5}$$

или без ущерба для точности (ошибка в сторону увеличения):

$$\delta_1 = \frac{2\,d_0 \cdot b}{3\sqrt{3} \cdot E}\left(2 + \frac{d^2}{D^2}\right) \cdot \delta. \tag{9.6}$$

Так как коэффициент перед δ значительно меньше единицы, то и допуск обработанного дорнованием отверстия δ_1 намного меньше допуска отверстия заготовки δ. Это указывает на значительное повышение точности предварительно подготовленного отверстия после его обработки дорнованием с большими натягами.

Дорнование разностенных заготовок сопровождается неравномерностью напряженно-деформированного состояния в поперечном сечении ствола и часто приводит к дополнительным погрешностям формы детали. Одной из таких погрешностей является образующаяся после дорнования непрямолинейность оси канала. Зная заранее величину максимального прогиба оси отверстия готовой детали, который может возникнуть при дорновании с определенными режимами в данной партии заготовок, можно более правильно осуществить проектирование технологического процесса дорнования каналов стволов. Применяя различные параметры процесса, можно найти условия, при которых будет обеспечена величина прогиба образующей отверстия в пределах требуемого допуска.

После дорнования разностенной трубы наибольшая и наименьшая длины образующей отверстия будут равны:

$$L_{max} = z_0 + \delta' \cdot z_0; \; L_{min} = z_0 + \delta'' \cdot z_0 ,$$

где $\delta' \cdot z_0$ и $\delta'' \cdot z_0$ - соответственно абсолютное ускорение труб с толщинами стенок S_1 и S_2.

Исходя из гипотезы плоских сечений, предположим, что в плоскости изгиба заготовка имеет форму кольцевого сектора с центральным углом φ (рис. 9.4).

Тогда запишем:

$$L_{max} = \left(R + \frac{d}{2}\right) \cdot \varphi;$$
$$L_{min} = \left(R - \frac{d}{2}\right) \cdot \varphi, \qquad (9.7)$$

где R - радиус оси отверстия.

Величина прогиба оси равна:

$$h = R \cdot \left(1 - \cos\frac{\varphi}{2}\right). \qquad (9.8)$$

Разность длин образующих отверстия по наибольшей и наименьшей толщинам стенок запишется в виде:

$$L_{max} - L_{min} = \delta' \cdot z_0 - \delta'' \cdot z_0 = \varphi \cdot d$$

Откуда: $\varphi = \frac{\delta' \cdot z_0 - \delta'' \cdot z_0}{d} = \frac{180^0}{\pi} \cdot \frac{\delta' \cdot z_0 - \delta'' \cdot z_0}{d}$. (9.9)

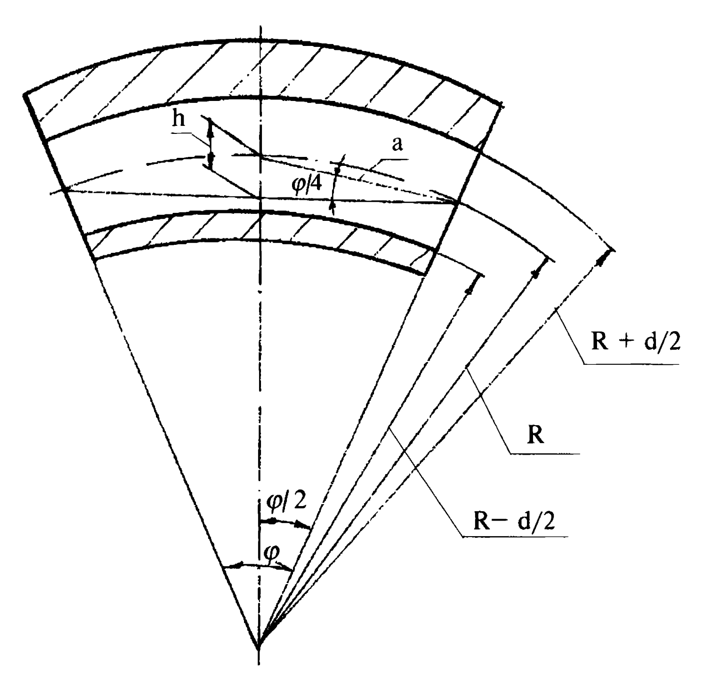


Рис. 9.4. Схема искривления оси канала ствола при дорновании разностенной трубной заготовки

В соответствии с уравнениями (9.7) и (9.9) имеем:

$$R=\frac{z_0+\delta\cdot z_0}{\varphi}+\frac{d}{2}=\frac{(z_0+\delta^{//}\cdot z_0)\,d}{\delta^{/}\cdot z_0-\delta^{//}\cdot z_0}+\frac{d}{2}\cdot \qquad (9.10)$$

Отсюда h равно:

$$h=\left[\frac{(z_0+\delta^{//}\cdot z_0)\,d}{\delta^{/}\cdot z_0-\delta^{//}\cdot z_0}+\frac{d}{2}\right]\cdot\left[1-\cos\frac{90^0\cdot(\delta^{/}\cdot z_0-\delta^{//}\cdot z_0)}{\pi\cdot d}\right]. \qquad (9.11)$$

Формулу можно значительно упростить, учитывая, что углы φ на практике обычно очень малы ($\varphi < 1{,}5°$). Тогда можно принять $\sin\varphi \approx \varphi$. При этом условии на основании рис. 9.4 запишем, что

$$a = R\cdot tg\frac{\varphi}{2};\quad h=a\cdot \mathrm{tg}\frac{\varphi}{4}=2\cdot R\cdot sin\frac{\varphi}{2}\approx\frac{R}{8}\cdot\varphi^2\quad;$$

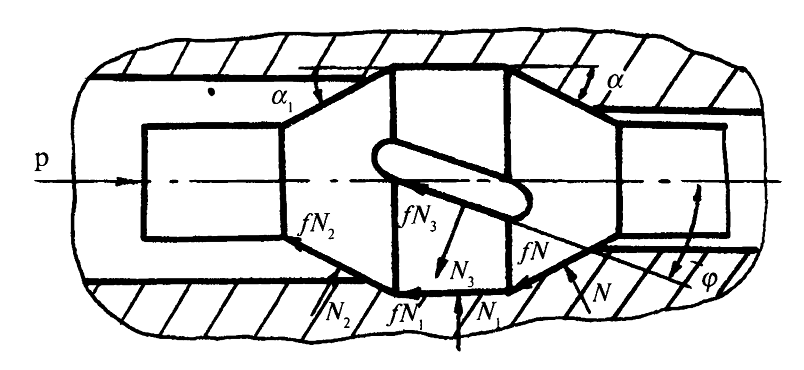


Рис. 9.5. Схема действия сил на рабочую поверхность дорна

Тогда формула (9.11) запишется следующим образом:

$$h=\frac{1}{8}\cdot\left[\frac{(z_0+\delta^{//}\cdot z_0)\cdot d}{\delta^{/}\cdot z_0-\delta^{//}\cdot z_0}+\frac{d}{2}\right]\cdot\left(\frac{\delta^{/}\cdot z_0-\delta^{//}}{d}\right). \qquad (9.12)$$

Прогиб образующей у тонкой стенки будет равен:

$$h=\frac{(z_0+\delta^{//}\cdot z_0)\cdot(\delta^{/}\cdot z_0-\delta^{//}\cdot z_0)}{8\cdot d}. \qquad (9.13)$$

Формулы по определению укорочений, выраженные через толщины стенок, запишутся следующим образом:

$$\ln\left(1+\frac{\delta^{/}\cdot z_0}{z_0}\right)=-\frac{\ln\left(1+\frac{i}{d_0}\right)}{18\cdot\frac{s_1}{d_0}\cdot\left(\frac{2\cdot s_1}{d_0}+1\right)}; \qquad (9.14)$$

$$\ln\left(1+\frac{\delta^{//}\cdot z_0}{z_0}\right)=-\frac{\ln\left(1+\frac{i}{d_0}\right)}{18\cdot\frac{s_2}{d_0}\cdot\left(\frac{2\cdot s_2}{d_0}+1\right)}; \qquad (9.15)$$

При увеличении натяга дорнования разность укорочений $\delta' \cdot z_0$ и $\delta'' \cdot z_0$ растет, что приводит к увеличению прогиба образующей отверстия *h*. Прогиб увеличивается также при увеличении длины заготовки, ее эксцентриситета, при уменьшении отношения D_0/d_0.

В процессе обработки на рабочую поверхность инструмента действуют реакции нормальных составляющих усилий дорнования N, N_1, N_2, N_3 и силы трения fN, fN_1, fN_2, fN_3 (рис. 9.5).

Для сообщения движения дорну необходимо, чтобы тяговое усилие:

$$P > N \cdot \sin\alpha + fN \cdot \cos\alpha + fN_1 - N_2 \cdot \sin\alpha_1 + fN_2 \cdot \cos\alpha_1 + N_3 \cdot \sin\varphi + fN_3 \cdot \cos\varphi,$$

где $N \cdot \sin\alpha$ и т.д. - являются проекциями равнодействующих сил по всей поверхности дорна на ось ствола. Силы fN_1, fN_2 и $N_2 \cdot \sin\alpha_1$ являются независимыми от угла заходного конуса. Согласно экспериментальным данным с увеличением "α" от "$\alpha_{опт}$" тяговое усилие "P" возрастает, а возрастание его возможно при увеличении сил $N \cdot \sin\alpha$ и $N_3 \cdot \sin\varphi$. С уменьшением "α" от "$\alpha_{опт}$" происходит также возрастание тягового усилия "P", но в этом случае возрастание его возможно за счет увеличения силы $fN \cdot \cos\alpha$ и $f_3N_3 \cdot \cos\varphi$. Поэтому при указанных выше оптимальных углах "α" должно иметь равенство сил:

$$N \cdot \sin\alpha + N_3 \cdot \sin\varphi = fN \cdot \cos\alpha + fN \cdot \cos\varphi.$$

Упругие деформации, действуя на задний конус, способствуют проталкиванию дорна в канале ствола.

С повышением твердости металла, а также с увеличением наружного диаметра ствола величина пластической деформации уменьшается, а упругой деформации и тягового усилия - увеличивается.

В общем случае тяговое усилие может быть представлено как сумма трех составляющих:

$$P = P_\delta + P_\mu + P_\partial,$$

где P_δ - часть тягового усилия, затрачиваемая непосредственно на деформирование металла;

P_μ - часть усилия, расходуемая на преодоление сил трения;

P_∂ - часть усилия, необходимая для преодоления потерь на изгиб волокон металла.

В результате суммирования отдельных составляющих формула тягового усилия принимает следующий окончательный вид [15]:

$$P = 2\pi \cdot S_{0_{cp}} \left(r_1 + \frac{\delta r_1}{2}\right) \delta r_1 \left(1 + \frac{\mu}{tg\alpha}\right)\left(\frac{1}{1 - \mu tg\alpha}\right) +$$
$$+ 2\pi\mu S_0 \left(r_1 + \delta r_1\right) b + \frac{2\pi}{\sqrt{3}} (\sigma_i)_{cp} r_1 (r_1 + r_2) tg\alpha \ln\frac{r_2}{r_1},$$

где $S_{0_{cp}} = \frac{S_0 + S_{0_к}}{2}$; $S_{0_к}$ - давление, соответствующее концу чисто упругого деформирования ствола; S_0 - давление рабочей поверхнос-

ти дорна на стенку ствола в зоне его цилиндрической калибрующей части;

r_1 и r_2 - соответственно радиусы наружного и внутреннего диаметров;

μ - коэффициент трения;

σ_i - сопротивление деформированию;

b - длина калибрующей части дорна.

Оптимальный угол заборного конуса дорна определяется по следующей зависимости:

$$\alpha_{опт}=5\cdot arctg\sqrt{\frac{\mu\cdot\frac{i}{d_0}}{\sqrt{3}\cdot\left(1+\frac{D_0}{d_0}\right)\ln\frac{D_0}{d_0}}}.$$

Дорнование без смазки поверхности канала ствола - невозможно. Применяются следующие составы смазок: металлические (медь, свинец, олово и т.д.), неметаллические (глицерин, мыло, бакелит и т.д.) и смешанные (медь с мылом, свинец с глицерином и т.д.).

Практикой установлено, что наиболее эффективными являются металлические смазки. Они обеспечивают наименьшие тяговые усилия. Смазки наносят на поверхность канала электролитическим или химическим способами непосредственно перед образованием нарезов в канале ствола, а затем после обработки смазку удаляют (например, размеднением) 10%-ным водным раствором серной кислоты.

Наиболее широко применяют омеднение поверхности канала. Для омеднения используется следующий состав: медный купорос ($CuSO_4$)-12%, серная кислота (H_2SO_4)-7%, хлористое олово ($SnCl_2$)-1% и вода (H_2O)-80%. Серная кислота ускоряет реакцию соединения меди с железом. Хлористое олово придает поверхности канала после нанесения смазки глянец (блеск). Чтобы получить равномерный и сплошной слой меди, производят тщательное обезжиривание канала каустической содой, а затем пропускают через канал определенное количество смазки.

Для смазки каналов стволов больших калибров (свыше 9 мм) применяется электролитическое свинцевание. В качестве анода служит электролитически освинцованный стальной стержень. Анод полностью изолируется от ствола, являющегося катодом. Состав электролита свинцевальной ванны: фтористый водород (HF 50%-ный) - 240г, борная кислота (H_3BO_3) - 105г, углекислый свинец ($PbCO_3$) - 150г, клей столярный - 0,2г. Приготовленный электролит разбавляют водой в отношении 4/1. Режим свинцевания: сила тока 5 - 6 А на деталь, плотность тока 0,8 - 0,9 А/дм^2. Продолжительность свинцевания 2 - 5 минут в зависимости от калибра ствола.

Для дорнования нарезов применяются специальные горизонтальные одношпиндельные станки с полуавтоматическим (станок модели 163СП) и автоматическим (351ИР) циклом работы. Станок

модели 163СП предназначен для образования нарезов в каналах стволов калибром до 9 мм, а станок модели 351ИР - для образования нарезов в стволах калибром до 23 мм.

Технические характеристики станка модели 351ИР:

1. Максимальное усилие дорнования, кН....................150
2. Количество шпинделей...1
3. Шаг обработки винтовой линии нарезов, мм...........360 - 420
4. Максимальный ход стола, мм..................................1650
5. Пределы диаметров обработки, мм............................10 - 25
6. Максимальная длина обработки, мм........................1500
7. Наибольший наружный диаметр обработки, мм......70
8. Пределы подач, мм/мин...0,5 - 3,0
9. Скорость быстрых перемещений, м/мин..................6
10. Суммарная мощность электродвигателей, кВт.......13
10. Габаритные размеры, мм.......................................4440x760x1250
11. Масса, кг...4000

По внешему виду и кинематической схеме эти станки аналогичны стволонарезным станкам. Для сообщения стволу вращательного движения копир-линейку устанавливают под углом φ_1 (рис. 9.6). Однако величина расчетного шага в отдельных случаях может не совпадать с шагом нарезов, тогда его подбирают опытным путем. Для пояснения сказанного рассмотрим поведение дорна в канале ствола в момент обработки (рис. 9.7). При деформации металла во время движения дорна на грани его выступов действуют реакции силы N_3 и fN_3. Спроектировав эти силы на плоскость, перпендикулярную оси инструмента, получим:

$$N_3 \cdot \sin\varphi - fN_3 \cdot \sin\varphi = N_t ,$$

где φ - угол винтовой линии канавки дорна (обычно равен углу наклона нарезов в канале ствола).

Сила N_t - действует на плече дорна R и вследствие наличия момента $M_{кр} = N_t \cdot R$ дорн стремится повернуться. Повороту дорна противодействует момент трения на “пятке” его в месте стыка со стеблем. Пятка дорна для лучшего его центрирования и противодействия повороту делается конической. Направление поворота дорна зависит от соотношения сил $N_3\cos\varphi$ и $fN_3\sin\varphi$. Если сила $fN_3\sin\varphi$ меньше силы $N_3\cos\varphi$, то дорн будет поворачиваться в сторону вращения ствола. В соответствии с этим угол φ_1 может быть не равен углу φ и может отличаться от угла подъема винтовой линии нарезов. Расчетных формул для определения величин разностей этих углов нет, поэтому они устанавливаются экспериментальным путем.

Скорость проталкивания дорна находится в пределах от 0,8 до 3 м/мин. Как правило, дорнование проводится с казенной части ствола.

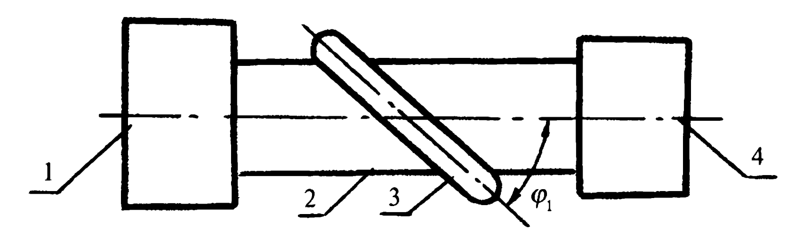


Рис. 9.6. Схема распределения копира-линейки на станке для дорнования нарезов: 1 - передняя бабка, 2 - станина, 3 - копир-линейка, 4 - каретка

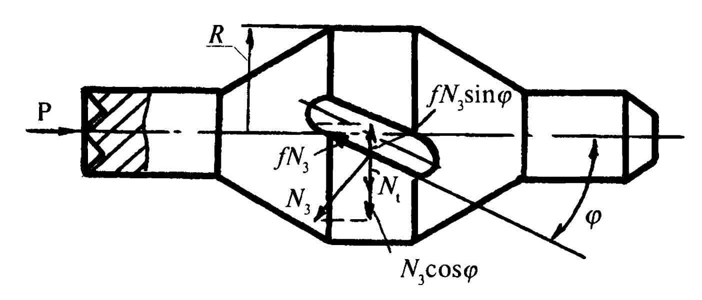


Рис. 9.7. Схема действия сил на выступ дорна

Основными дефектами каналов стволов после дорнования являются: винтовые продольные царапины вследствие налипания частиц металла на дорн при недоброкачественной смазке; волнистость по полям и нарезам вследствие неравномерной твердости металла и толщины медного слоя, а также вибрации инструмента; поперечные царапины вследствие оставшихся следов развертывания перед дорнованием. Этот дефект устраняют путем строгания полей и нарезов шпалером, причем стволы при этом нередко подвергают толстому хромированию.

Необходимо отметить, что при дорновании длинных и тонких (нежестких) стволов вследствие действия на них осевой силы стволы могут прогнуться (сдеформироваться). Поэтому образование нарезов в нежестких стволах производят комбинированным способом, т.е. сначала строгают нарезы, а затем их подвергают калиброванию дорном. Соответственно этому поля строгают, а затем их "уплотняют" гладким дорном. При этом способе шпалер снимает меньший припуск.

10. ОБРАЗОВАНИЕ НАРЕЗОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

Электрохимической обработкой (ЭХО) называется процесс изменения размеров и формы детали в результате анодного растворения металла [16]. В отличие от процессов электрополирования и электротравления, где также используется анодное растворение, при электрохимической обработке применяются более высокие плотности тока (в 10 - 100 раз больше), а локализация процесса обеспечивается конструкцией инструмента и созданием малых межэлектронных зазоров. Образующиеся при электролизе продукты растворения удаляются из межэлектродного зазора потоком электролита.

Электрохимическая обработка проводится в растворах электролитов. Электролиты - это вещества, обладающие в кристаллическом и расплавленном или растворенном состоянии ионной проводимостью. При ЭХО в качестве электролита обычно применяются водные растворы солей, кислот и оснований (щелочей).

В электролитах молекулы вещества на электрически заряженные частицы - ионы, каждый из которых переносит один или несколько электрических зарядов. Количество положительных и отрицательных зарядов, переносимых ионами, одинаково и поэтому в целом электролит электрически нейтрален.

При отсутствии внешнего электрического поля ионы движутся в электролите хаотически и электрического тока в нем не наблюдается. При погружении же в электролит металлических проводников на границе раздела твердой (металл) и жидкой (электролит) фаз имеет место переход ионов одной фазы в другую. При переходе положительных ионов (катионов) в раствор металл приобретает отрицательный заряд и электрически удерживает вблизи своей поверхности катионы.

При небольших напряжениях происходит в основном процесс электрохимического растворения металла с достижением высокого качества обработанной поверхности. Закон электролиза, установленный Фарадеем, количественно выражается уравнением:

$$m = k \cdot \frac{A}{P} \cdot I \cdot t,$$

где m - общее количество вещества, выделившегося при электролизе (в граммах);

k - константа ($k = 0{,}01$);

A - атомный вес выделившегося вещества;

P - валентность вещества;

I - сила тока (в амперах);

t - длительность процесса (в часах).

Однако практически повышение съема металла путем увеличения анодной плотности тока ограничено процессом поляризации, состоящем в том, что поверхность анода (ствола) покрывается слоем солей, которые образуются при анодном растворении. При больших плотностях тока эти соли выделяются в таком большом количестве, что не успевают раствориться в жидкости. Для устранения поляризационной пленки или, как иногда называют, механического пассивирования применяют ряд способов. При электрохимическом методе образования нарезов это достигается путем интенсивного движения жидкости (электролита).

Инструментом для образования нарезов в канале ствола является катод (рис. 10.1). В зависимости от конструкции катода, определяющий технологию ЭХО, различают образование нарезов неподвижным и подвижным катодом.

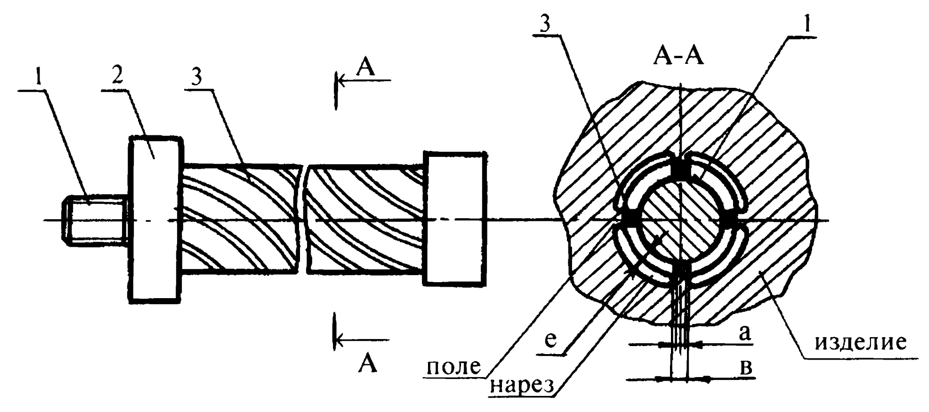


Рис. 10.1. Конструктивная схема катода: 1 - стержень, 2 - пробка-изолятор, 3 - вкладыш винтовой изоляционный

В первом случае катод, имеющий длину, несколько большую длины ствола, в процессе обработки остается неподвижным. Во втором случае катод, имеющий длину, равную 2 - 5 калибрам ствола, совершает поступательное и вращательное движение в соответствие с шагом нарезов канала ствола. В обоих случаях стволы остаются неподвижными. Технология образования нарезов с помощью неподвижного катода отличается простотой, однако по мере увеличения калибра и абсолютной длины ствола изготовление длинных катодов становится затруднительным. В таких случаях применение подвижных катодов является более целесообразным.

Для стволов стрелкового оружия малого калибра и сравнительно небольшой длины наиболее удобным является длинный неподвижный катод. Катод представляет собой стальной или латунный стержень с профезерованными на его наружной поверхности винтовыми канавками с шагом нарезов в канале ствола. В канавки устанавливаются изоляционные вкладыши из органического стекла или эбонита. Число канавок соответствует числу нарезов в канале ствола. Учитывая, что процесс протекает не только в радиальном направлении на незащищенных вкладышами участках, но и со стороны образованных граней нарезов, ширина вкладыша "*в*" должна быть больше, чем ширина полей.

Установлено, что:

$$B = a + \Delta,$$

где a - ширина полей (в мм);

Δ - некоторая величина, равная глубине нарезов (в мм).

Величина межэлектродного зазора (величина выступания вкладыша над поверхностью катода):

$$e = (0{,}02 - 0{,}05) \cdot d,$$

где d - диаметр обрабатываемого отверстия.

К катоду при осуществлении ЭХО предъявляются высокие требования по прямолинейности. Для образования правильной формы полей и нарезов диаметр катода по вкладышам изготавливается по посадке скольжения или движения, считая за номинал наименьший диаметр канала ствола до образования нарезов.

Практический опыт по образованию нарезов с помощью подвижного катода показал, что можно установить режим ЭХО, обеспечивающий обработку нарезного канала за один проход катода. Этого же можно достичь при электрохимическом протягивании нарезов, который успешно применяется при изготовлении нарезных каналов крупного калибра.

Электрохимический способ обработки может применяться не только для образования нарезов, но и в качестве чистовой обработки гладких стволов.

Для электрохимической обработки нарезов применяются специальные однопозиционные горизонтальные станки-полуавтоматы

и автоматы модели ПЭХО-1М и ЭХУ-1. Станок модели ПЭХО-1М применяется для образования нарезов в стволах калибром до 14,5 мм и длиной до 1500 мм, а станок ЭХУ-1 применяется для обработки нарезов в стволах калибром до 30 мм и длиной до 3000 мм. Схема процесса электрохимической обработки представлена на рис. 10.2.

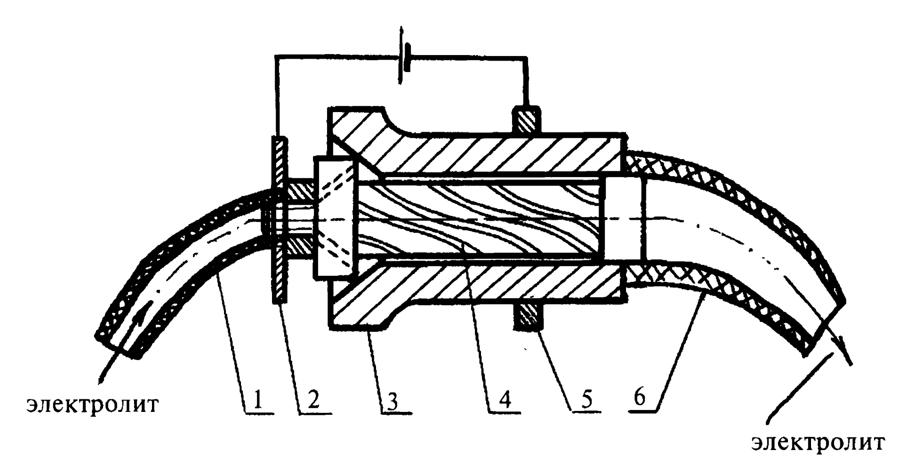


Рис. 10.2. Конструктивная схема установки для электрохимической обработки нарезов: 1 - шланг, 2 - контакт катода, 3 - ствол (анод), 4 - катод, 5 - контакт анода, 6 - шланг для слива жидкости

Важной характеристикой процесса является электролит. Он влияет на производительность и на качество обработки. К нему предъявляются следующие требования:

обеспечивать наибольшую производительность;

образовывать максимальное число ионов в растворе;

обеспечивать легкое и быстрое удаление остатков электролита из канала ствола после обработки;

обладать высокой стойкостью;

быть дешевым и недефицитным, безопасным и удобным в обращении;

не оказывать сильного коррозионного действия на систему СПИД.

В настоящее время в качестве электролита применяется 10-20%-ный водный раствор поваренной соли (NaCl). Установлено, что эта концентрация дает наибольшую электропроводность.

При электрохимической обработке происходят следующие реакции.

Реакция на аноде: $Fe + 2Cl = FeCl_2$.

Реакция на катоде: $Na + H_2O = NaOH + H\uparrow$.

Конечная реакция: $FeCl_2 + 2NaOH = 2NaCl + Fe(OH)_2\downarrow$.

Сущность процесса при ЭХО состоит в том, до пропускания тока в результате электролитической диссоциации создается подвижное равновесие между ионами и недиссоциированными молекулами воды и хлористого натрия. На границе анода с электролитом в результате взаимодействия полярных молекул электролита с ионами железа анода часть ионов железа переходит в раствор. Но так как металл анода, потеряв часть своих ионов, приобретает отрицательный потенциал, то ушедшие в раствор ионы железа создают вокруг анода оболочку из положительных зарядов, называемую двойным электрическим слоем. При включении тока образуется электрическое поле и ионы, находящиеся в электролите, будут перемещаться: положительные - к катоду (катионы), а отрицательные - к аноду (анионы). Для восстановления нарушенного равновесия происходит процесс непрерывного растворения анода. При движении к катоду ионы железа взаимодействуют с группой "ОН" и образуют нерастворимый в воде осадок $Fe(OH)_2$ и $Fe(OH)_3$. Одновременно выделяется некоторое количество атомарного водорода, который может диффузировать в поверхность обрабатываемой детали, приводя к водородной хрупкости. Для устранения этого явления проводится стабилизирующий отпуск при температуре 200 - 250° С.

Важной электрической характеристикой электролита является его удельная электропроводность. Согласно закону Ома падение напряжения в электролите будет:

$$E=I\cdot \frac{e}{\gamma\cdot s},$$

где I - сила тока (в амперах);

e - межэлектродный зазор (в см);

γ - удельная электропроводность (в $Ом^{-1}$ с $м^{-1}$);

s - площадь поперечного сечения межэлектродного зазора (в $см^2$).

Таким образом, для меньшей затраты энергии при электрохимической обработке необходимы меньший зазор между катодом и анодом и большая электропроводность электролита.

Для устранения поляризационной пленки на поверхности анода применяется определенная скорость протока электролита. Оптимальная скорость протока электролита определяется по формуле:

$$V= 16{,}7\cdot \frac{Q}{S},$$

где Q - расход электролита (в л/мин);

S - площадь межэлектродного зазора.

Электрохимический метод обработки является весьма устойчивым. Он обеспечивает высокую точность получаемых размеров канала по продолжительности процесса.

Исходя из закона Фарадея, продолжительность процесса образования нарезов в канале ствола при ЭХО может быть определена по следующей зависимости (в минутах):

$$t = \frac{60 \cdot d \cdot b \cdot \Delta \cdot n \cdot P \cdot l}{k \cdot A \cdot I \cdot \cos\alpha},$$

где d - удельный вес металла ствола (в г/см^3);

b - ширина нареза (в см);

Δ - глубина нареза (в см);

n - число нарезов;

α - угол крутизны нарезов;

l - длина направляющей части канала ствола (в см).

Из формулы видно, что при всех прочих заданных параметрах на продолжительность обработки влияет сила тока. В настоящее время приняты следующие оптимальные значения силы тока: для калибров 4,5 - 9,0 мм 300 - 600 А; для калибров 12,7 - 14,5 мм 800 - 1000 А; для калибров 23,0 - 30,0 мм 1100 - 1500 А. С увеличением калибра повышается величина силы тока. Напряжение тока 7 - 20 В. Производительность выражается скоростью съема металла по нарезам, которая составляет 0,4 - 0,8 мм/мин для плотностей тока в 20- 30 А/см^2.

Преимуществами электрохимической обработки являются:

высокая производительность;

простота и надежность оснастки;

метод позволяет вести обработку с одинаковым эффектом независимо от физико-механических свойств материала ствола;

метод с применением неподвижного катода позволяет образовывать нарезы переменной крутизны, ширины и глубины в стволах с цилиндрическими и коническими каналами;

при ЭХО физико-механические свойства поверхностного слоя не изменяются;

исключается размерный брак по каналу из-за неполного снятия остаточных напряжений.

Однако этот метод имеет следующие недостатки:

точность обработки зависит от точности изготовления оснастки и режимов процесса;

поверхность не имеет блеска несмотря на низкую величину шероховатости (R_a = 0,16 - 0,32 мкм и H8-H9);

при ЭХО получаются несколько завышенные радиусы скругления у дна нарезов и кромок полей (примерно в 2 раза);

электролит, применяемый при ЭХО, весьма агрессивен в образовании коррозии, поэтому после обработки необходима тщательная промывка и протирка каналов стволов.

11. ФИНИШНЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ КАНАЛОВ СТВОЛОВ

Финишная обработка канала ствола предусматривает обработку полей и нарезов с целью придания им окончательных размеров (для нехромированных стволов) или размеров под хромирование (для хромированных стволов) и полирования (доводки) полей и нарезов. Для хромированных стволов полирование производят до и после хромирования. Следует заметить, что состояние поверхности после механической обработки оказывает существенное влияние на качество хромовых покрытий. Даже незначительные следы обработки служат причиной появления пористости, приводят к получению негладких покрытий и способствуют растрескиванию и отслаиванию (шелушению) хрома.

Основным методом полирования полей и нарезов с целью придания им окончательной шероховатости является метод свинцевания (шустования). Инструментом служит длинный стержень (шуст) со свинцовым наконечником (рис. 11.1). Форма свинцового наконечника различна для свинцевания полей и нарезов. Для свинцевания полей применяют шусты с гладким свинцовым наконечником (форма I), а для свинцевания нарезов наконечником с выступами соответствующими нарезам ствола (форма II).

Шусты заливаются свинцом с использованием соответственно гладкого и нарезного стволов. Свинцовый наконечник является притиром, который при полировании покрывается мелким абразивным порошком. Для удержания абразива на притире делается насечка и для лучшего полирования применяют машинное масло.

Специальный припуск на свинцевание полей и нарезов не задается, однако в отдельных случаях целью свинцевания может явиться доведение канала до требуемых размеров.

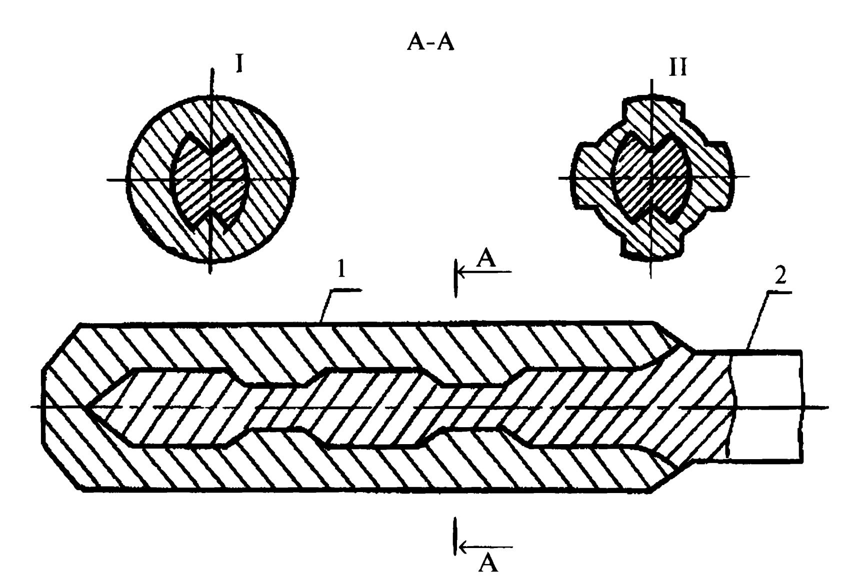


Рис. 11.1. Шуст для свинцевания: 1 - наконечник, 2 - стержень (стебель)

Различают поперечное свинцевание для полей и продольное для нарезов. Соответственно этому применяют два типа станков: поперечно-свинцевальные и продольно-свинцевальные (модели ССМ3).

В поперечно-свинцевальных станках шусты, закрепленные в патронах шпинделей станка, получают вращательное движение, а стволы, закрепленные в каретке станка, совершают возвратно-поступательное движение.

В продольно-свинцевальных станках главным движением, придаваемым шусту, является возвратно-поступательное движение каретки, осуществляемое при помощи качающейся кулисы. Ствол закрепляется в коробке и при свинцевании остается неподвижным. Патрон для закрепления шуста может свободно вращаться, в результате чего свинцовый наконечник шуста будет перемещаться по нарезам ствола.

Операция свинцевания ствола имеет следующие особенности:

качество обработки зависит от опыта и квалификации рабочего;

низкая производительность операции;

не исключается возможность, что при свинцевании из-за действия свинцового притира поверхность канала получит блеск и станут незаметны неровности поверхности между тем, как шероховатость поверхности не изменяется.

Для устранения последнего в режимах свинцевания регламентируется время свинцевания для каждого калибра. Например, для калибра 14,5 мм - 30 мин.

В последнее время находят применение гидроабразивное полирование и электрополирование каналов стволов.

Гидроабразивное полирование (гидрополирование) представляет собой процесс обдувания обрабатываемой поверхности струей жидкости, смешанной с абразивным материалом (20-30%-ного корунда белого или зеленого с эмульсией). Обработку ведут специальными форсуночными гидрополировальными головками (рис. 11.2). Шероховатость поверхности с исходной Ra = 0,32 - 0,63 мкм достигает R_a = 0,08 - 0,16 мкм при угле атаки $\alpha = 45°$. Обеспечивается высокая производительность и управляемость процесса. Операция легко автоматизируется.

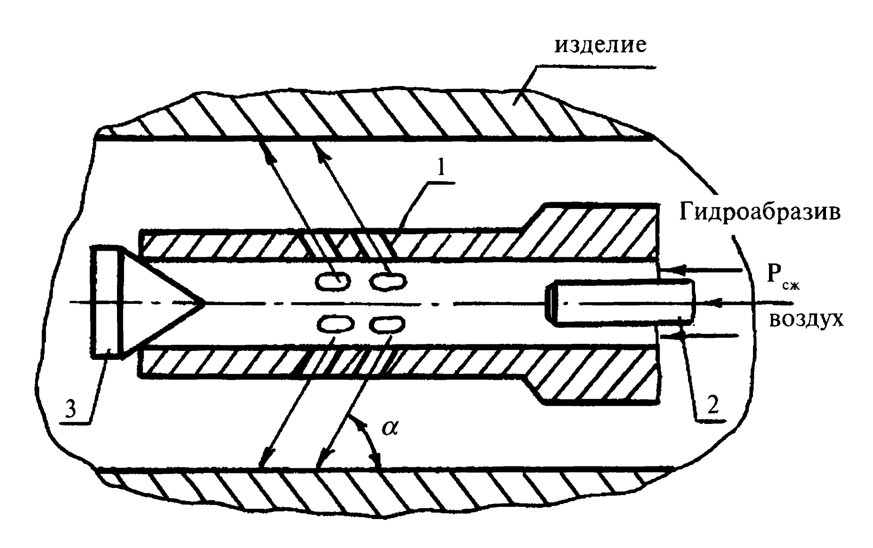


Рис. 11.2. Схема гидрополирования форсуночной головкой: 1 - корпус, 2 - форсунка, 3 - пробка

Электрополирование представляет собой разновидность процесса электрохимической обработки, только в качестве инструмента (катода) используется стебель с металлической щеткой.

12. КОНТРОЛЬ СТВОЛОВ

Стволы контролируются по диаметральным размерам полей и нарезов; по ширине, глубине и шагу нарезов; по разностенности и непрямолинейности канала; по качеству поверхности и правильности сопряжения дна и полей нарезов с боковыми гранями, а также качеству металла ствола.

При контроле направляющей части канала применяются предельные калибры-пробки для диаметра по полям, нарезам, ширине и шагу нарезов. Проходные калибры-пробки должны под собственной массой при вертикальном положении ствола и протертом канале проходить через весь канал ствола.

12.1. КОНТРОЛЬ ДИАМЕТРАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ КАНАЛА СТВОЛА

Для измерения диаметральных размеров канала ствола применяются механические, оптические и пневматические звездки.

Механические звездки применяются только для измерения отклонений диаметров по полям и нарезов или гладкого глубокого отверстия от исходного, номинального диаметра (рис. 12.1). По своей конструкции этот прибор дает возможность измерять отклонения диаметров как цилиндрических, так и конических отверстий. В зависимости от принципа работы и отсчета отклонений механические звездки подразделяются на ручные с конусными или индикаторными шкалами и автоматические с записывающим устройством.

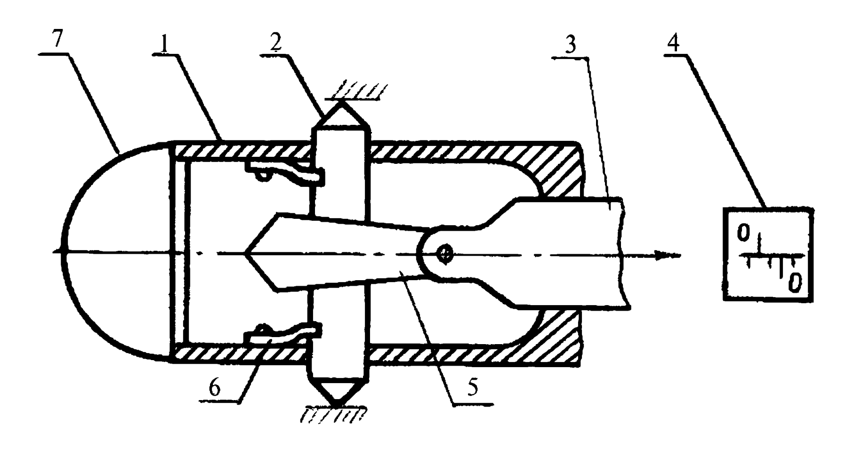


Рис. 12.1. Механическая звездка: 1 - корпус, 2 - наконечник, 3 - тяга, 4 - нониус, 5 - клин, 6 - пружина, 7 - заглушка

Принцип действия звездки следующий: при перемещении тяги прибора за рукоятку наружу или внутрь перемещается клин, а под действием его соответственно утапливаются или выдвигаются измерительные наконечники. Установив перед началом измерения по принятому эталону измерительные наконечники на размер, соответствующий номинальному диаметру данного отверстия, и совместив в этом положении нулевой штрих нониуса с нулевым штрихом основной шкалы (это положение штрихов принимают исходным), вводят звездку в измеряемое отверстие и перемещают тягу наружу до упора измерительных наконечников в стенку отверстия. Если в каком либо сечении действительный диаметр отверстия больше или меньше номинального, то измерительные наконечники переместятся на величину отклонения, а следовательно переместится и тяга с нониусом по отношению к установленному нулевому положению. Настройка звездки для измерения производится эталонным кольцом. При отсутствии кольца - микрометром или набором плоскопараллельных концевых мер. Если звездка предназначена для обмера нарезного канала ствола, прилагаются два кольца, диаметры которых равны: у одного - номинальному диаметру направляющей части канала ствола по полям, у другого - номинальному диаметру канала по дну нарезов. Кроме того, наконечники для контроля диаметра по полям изготавливаются широкими. Ширина наконечника равна сумме ширины поля и нарезов. Наконечники обрабатываются по радиусу номинального размера отверстия. Точность механической звездки с нониусом равна 0,01 - 0,02 мм. Основным недостатком механической звездки является непостоянство мерительного давления.

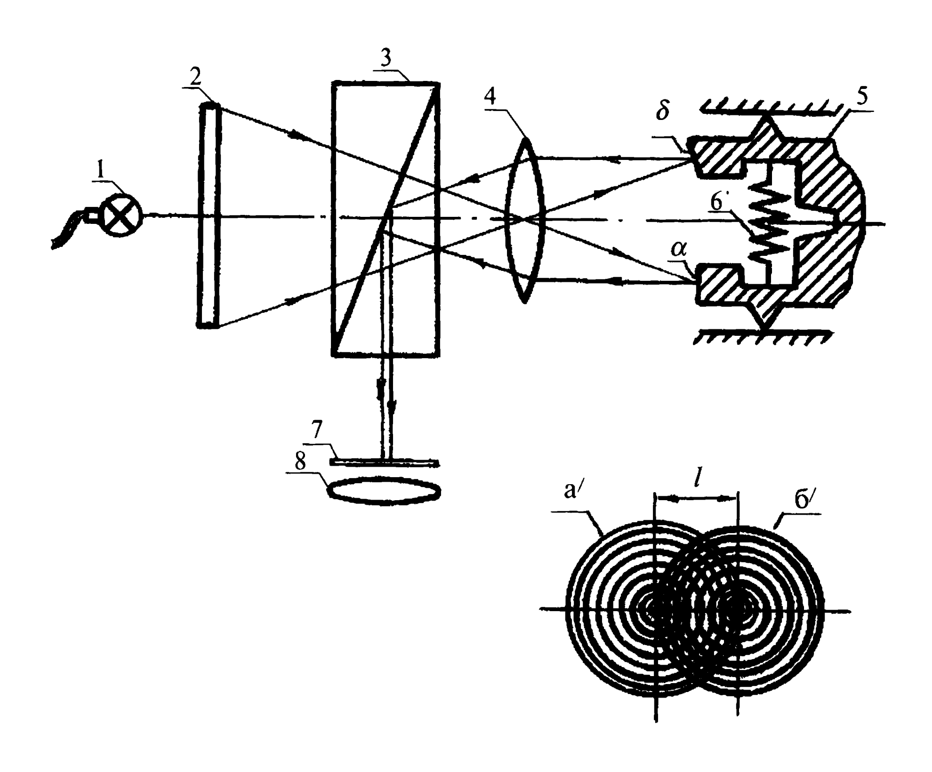


Рис. 12.2. Оптическая звездка: 1 - источник света, 2 - шкала, 3 - призма, 4 - объектив, 5 - насадок, 6 - пружина, 7 - экран, 8 - окуляр

Оптическая (автоколлимационная) звездка (рис. 12.2) - это измерительный прибор, позволяющий: измерять отклонения диаметров гладкого и нарезного отверстия как по полям, так и по нарезам; измерять отклонения действительной оси отверстия от теоретической; измерять углы крутизны нарезов в канале ствола. Оптическая звездка является более универсальным прибором, чем механическая. Она состоит из автоколлимационной трубы, набора измерительных наконечников (насадок) и штанги для перемещения насадок внутри измеряемого канала. Автоколлимационная труба состоит из объектива, в фокальной плоскости которого помещена шкала, источника света (или лазерного луча), окуляра и призмы с полусеребряной поверхностью. Измерительный насадок состоит из двух частей (а и б) с зеркальными торцевыми поверхностями, причем один торец насадка (б) выполнен под углом. Под действием пружины измерительные наконечники обеих половин насадка прижимаются к поверхности измеряемого канала ствола, при этом в зависимости от действительных размеров канала будет изменяться угол между торцевыми поверхностями частей насадка. В результате

отражений шкалы от торцевых поверхностей насадок в поле зрения окуляра получается два изображения шкалы, смещенных одно относительно другого на определенную величину "Г" при настройке на номинальный размер. Смещение шкал на одно кольцо соответствует изменению размера на 0,01 мм. Предел измерения по шкале прибора равен 0,1 мм.

Пневматическая звездка основана на следующем принципе действия (рис. 12.3). Воздух от пневмосети подается через фильтр к регулятору давления, состоящему из баллона с водой и трубки, в которую поступает сжатый воздух. В зависимости от глубины погружения трубки в ней устанавливается определенное постоянное давление воздуха. Под этим давлением воздух через входное отверстие поступает в камеру и далее по резиновому шлангу к измерительному наконечнику. В настоящее время разработаны контактные и бесконтактные измерительные головки. В контактных головках воздух действует не на поверхность канала ствола, а на поверхность измерительного наконечника, взаимодействующего с измеряемой поверхностью. Изменение давления воздуха в камере монометрической трубки, вызванное изменением зазора между выходным отверстием измерительной головки и измеряемой поверхностью (Δ), определяется по водяному манометру. По обе стороны трубки манометра расположены две шкалы для определения диаметров по полям и нарезам. Прибор основан на принципе относительного измерения. Точность измерения - 0,002 мм.

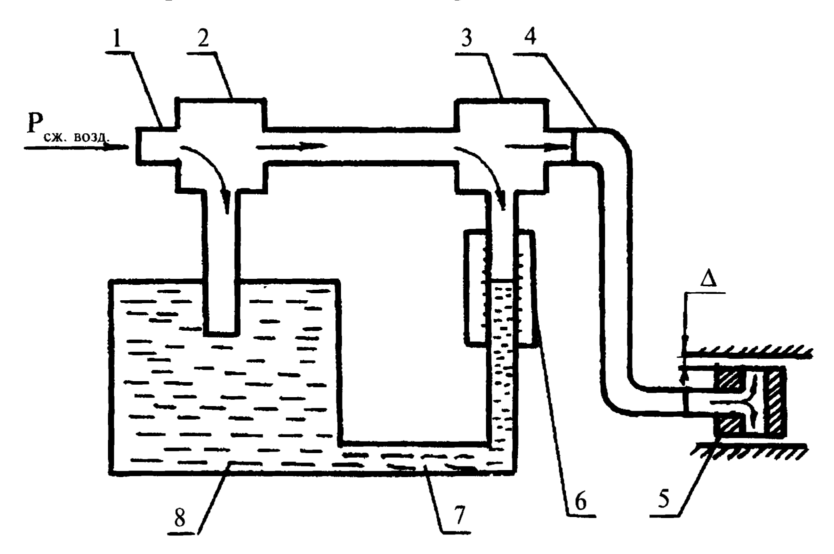


Рис. 12.3. Пневматическая звездка: 1 - воздухопровод, 2 - камера регулятора давления, 3 - камера манометрической трубки, 4 - гибкий шланг, 5 - наконечник измерительный, 6 - шкала, 7 - манометрическая трубка, 8 - регулятор давления

Большое распространение в промышленности получили пневматические вертикальные автоматы АКП-1 и АКП-2 для комплексного измерения параметров канала ствола. Автомат АКП-1 контролирует каналы стволов до нанесения хромового покрытия с отнесением их к одной из сортировочных групп через 0,01 мм, а автомат АКП-2 - после нанесения хромового покрытия с отнесением к одной из групп через 0,02 мм.

Технические характеристики измерительных автоматов:

1. Время измерения, мин, не более..........................3
2. Погрешность измерения, мм, не более.................0,003
3. Давление сжатого воздуха на входе, МПа............0,4
4. Параметры переменного тока для питания автоматов:
   номинальное напряжение, В................................110; 380
   частота, Гц...50
   масса, кг...170
5. Габаритные размеры, мм..................................420x770x1875

Автоматы состоят из блока подготовки воздуха, фильтра-влагоотделителя с конденсатоотводником, пневмораспределителя, блока фильтра со стабилизатором давления, пневмоэлектроконтактных преобразователей, пневматических пробок и блока автоматики.

Недостатком автоматов АКП являются невозможность контроля внутренних размеров патронника, невысокая производительность и точность контроля. Кроме того, при встраивании автоматов в линию хромирования возникают трудности автоматизации транспортирования стволов по технологическому циклу обработки.

Для устранения этих недостатков и расширения возможностей автоматов контроля спроектирован, изготовлен и внедрен в промышленность горизонтальный пневматический измерительный автоматизированный технологический комплекс (АТК).

Технические характеристики комплекса:

1. Количество контролируемых стволов за 1 час..........250
2. Число измеряемых размеров....................................14
3. Наибольшая потребляемая мощность, кВт...............1
4. Наибольший расход сжатого воздуха, $м^3/ч$...............96
5. Наибольшая основная погрешность измерения
   размеров, % поля допуска по ГОСТ 8.051-81...........±10
6. Наибольшая дополнительная погрешность
   от изменения температуры окружающей среды,
   составляющей 15 - 30° С, % измеряемой
   величины...±1
7. Габаритные размеры, мм.......................................2680x1400x1200

Измерительный комплекс представляет собой многопозиционное программируемое измерительное устройство, осуществляющее

автоматически прием и передачу стволов с одной позиции контроля на другую, подвод калибров, преобразование измеряемого размера в цифровую форму, сравнение с граничными значениями, оценку годности по всем измеряемым размерам, сортировку стволов по признаку брака с распечаткой признаков забракования, клеймение годных стволов, передачу измеренных размеров в ЭВМ верхнего уровня СМ-2.

Конструктивно АКП выполнен в виде функционально законченных узлов - автомата и стойки управления с расположенной на ней микроЭВМ "Электроника Д3-28". При работе в автономном режиме он комплектуется также электрофицированной пишущей машинкой "Консул"260.1 или другим печатающим устройством в зависимости от модификации микроЭВМ.

12.2. КОНТРОЛЬ РАЗНОСТЕННОСТИ И РОВНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ КАНАЛОВ СТВОЛОВ

Разностенность характеризуется местным или односторонним утонением стенки ствола.

Приборы для контроля разностенности и ровности канала по особенностям их устройства и базирования при контроле подразделяются на стержневые и рычажные.

Стержневой прибор для контроля разностенности (рис. 12.4) состоит из двух стержней, соединенных параллельно державкой.

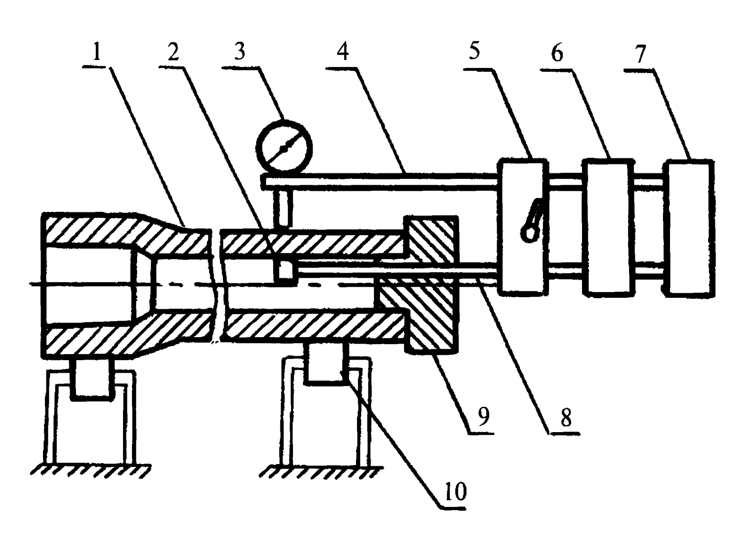


Рис. 12.4. Стержневой прибор для контроля разностенности стволов: 1 - ствол, 2 - ролик, 3 - индикатор, 4 - наружный стержень, 5 - подвижная опора, 6 - державка, 7 - опора, 8 - внутренний стержень, 9 - центрирующая втулка, 10 - роликовая опора

На стержень, который вводится внутрь канала, устанавливается ролик, а на стержень, расположенный снаружи, устанавливается индикатор. Внутренний ролик в процессе обмера прижимается к поверхности отверстия, индикатор мерительным штифтом касается наружной поверхности детали.

Прибор имеет следующие преимущества:

непосредственное измерение разностенности в любом сечении по глубине канала;

показания прибора практически достаточны для определения разностенности.

Недостатки: неудобство центрирования прибора в отверстии и конструкция не обладает жесткостью.

Рычажный прибор для контроля ровности поверхности канала ствола (рис. 12.5) предназначен для контроля параллельности образующей поверхности отверстия относительно его оси. Прибор может быть стационарным и переносным. Им можно пользоваться непосредственно в процессе обработки отверстия или наружной поверхности.

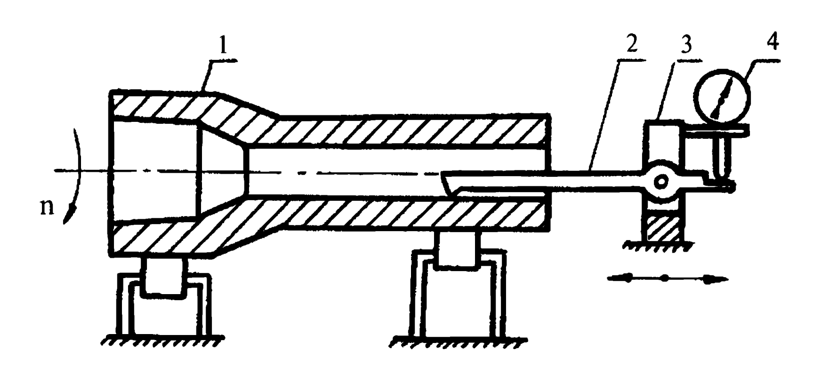


Рис. 12.5. Рычажный прибор для контроля ровности поверхности канала ствола: 1 - ствол, 2 - рычаг, 3 - стойка, 4 - индикатор

12.3. КОНТРОЛЬ НЕПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ

Наиболее распространенным методом контроля непрямолинейности каналов стволов является “теневой метод”.

Сущность метода состоит в том, что при направлении канала ствола на экран, поставленный между источником света и стволом, на поверхности канала появляется тень, по очертанию которой можно установить место и характер изгиба ствола (рис. 12.6). Перед проверкой стенки канала ствола протирают, ствол устанавливают

на подставку и направляют одним концом на экран. В качестве экрана используют выкрашенную в черный цвет планку специального фонаря. Так как по законам перспективы цилиндр представляется глазу наблюдателя всегда конусом, то на поверхности прямолинейного канала теневой контур будет иметь форму равнобедренного треугольника с основанием, обращенным к глазу (а). Если стрела прогиба направлена вверх, то наблюдается теневой треугольник с выпуклыми сторонами (б), а если вниз - то с вогнутыми сторонами (в). Если стрела прогиба направлена влево, то теневой треугольник смещается влево (г), а если вправо - то вправо (д). Если имеет место односторонний изгиб в нескольких местах, то теневой треугольник состоит из нескольких частей (е), а если изгиб многосторонний, то тени видны в нескольких местах (ж).

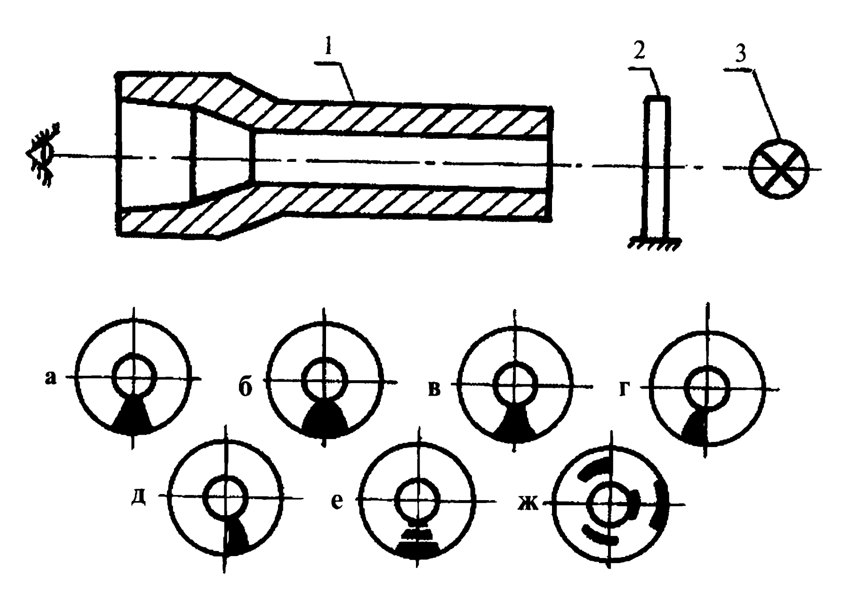


Рис. 12.6. Схема контроля непрямолинейности канала стволов "теневым методом": 1 - ствол, 2 - экран, 3 - источник света

В настоящее время принцип контроля непрямолинейности "теневым методом" заложен в стационарную автоматизированную измерительную систему, которая, будучи совмещенная с ЭВМ, позволяет выдавать параметры, связанные с искривлением оси отверстия и, по необходимости, оптимальные режимы правки стволов для прессового оборудования или правочных устройств.

Для контроля непрямолинейности оси канала ствола широко применяются приборы типа ЧКРСМ, УМ-2, ДУ-3 и “Луч-Н”, а также приборы с лазерными приставками ОКГ-13 и приемниками с фотодиодами типа “Сектор” или “Штурм”.

12.4. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СТВОЛОВ

Контроль качества поверхности канала и металла ствола производят: оптической трубой, осмотр зеркалом или световодами, магнитным дефектоскопом, рентгеновскими и ультрафиолетовыми методами.

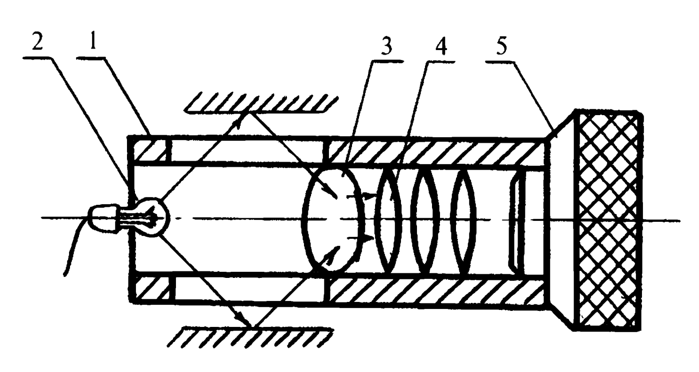


Рис. 12.7. Оптическая труба: 1 - корпус, 2 - источник света, 3 - зеркало, 4 - линза, 5 - окуляр

Наиболее широкое распространение при контроле качества поверхности канала ствола получили оптические трубы (рис. 12.7). Она состоит из металлической многозвенной трубы, окуляра, линз, зеркала и источника света. Оптические трубы изготовляются двух типов: для кругового и секторного обзоров. Кроме того, имеются оптические трубы с фотокамерой для фотографирования поверхности канала. Ее устанавливают на окуляр. Контроль оптическими трубами проводится в два этапа. Вначале канал просматривается трубой с секторным обзором с большим увеличением. При необходимости дефектное место фотографируется.

Магнитный дефектоскоп (рис. 12.8) предназначен для обнаружения поверхностных и внутренних дефектов: шлаковых включений, газовых пузырей, флажков, трещин и т.д. Он представляет собой установку, состоящую из источника постоянного тока, электропроводки с приборами управления, латунного стержня, ванны с жидкостью и роликовых опор для установки контролируемых деталей над ванной. Ванна наполняется жидкостью, состоящей из смеси веретенного масла с керосином (50%) и магнитного порошка из

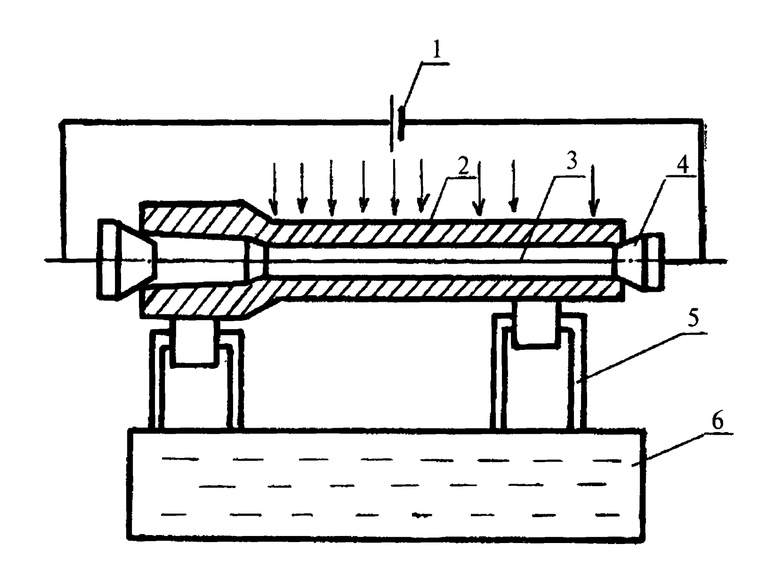


Рис. 12.8. Схема контроля металла ствола магнитным дефектоскопом: 1 - источник тока, 2 - ствол, 3 - стержень, 4 - пробка. 5 - роликовая опора, 6 - ванна с жидкостью

расчета 1 кг на 50 литров жидкости. Контроль производится следующим образом. Деталь устанавливается над ванной на регулируемых роликовых опорах. В отверстие детали вставляется латунный стержень. Стержень зажимается в электроконтактах, он должен быть изолирован от поверхности отверстия ствола. После установки детали в цепь стержня включается постоянный электрический ток (напряжение 5В, сила тока 4000А). При прохождении электрического тока по стержню контролируемая деталь намагничивается. В местах, где имеются дефекты, непрерывный ток магнитных линий прерывается и образуется магнит с двумя полосами. Намагниченная деталь поливается магнитной суспензией. В местах дефектов магнитный порошок оседает на поверхности детали. Таким образом выявляется местонахождение и размеры дефектов.

13. ОБРАБОТКА ПАТРОННИКОВ

13.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ОБРАБОТКИ ПАТРОННИКОВ

Обработка патронников проводится по трем технологическим схемам: предварительная, чистовая и окончательная (рис. 13.1). Операцию предварительной обработки выполняют до образования нарезов в канале ствола, операцию чистовой обработки - после образования нарезов и операцию окончательной обработки - в конце технологического процесса изготовления ствола для нехромированных стволов и перед хромированием - для хромированных стволов.

Предварительная обработка заключается в образовании первого и второго конусов патронника, чистовая - в образовании третьего и четвертого, а окончательная - пульного входа и всех конусов патронника (глянцевание патронника). Каждая операция по обработке патронников состоит из ряда переходов, определяемых удалением припусков А, Б, В ($А^{/}$, $Б^{/}$, $В^{/}$ и $А^{//}$, $Б^{//}$) и сменой режущих инструментов. Соответственно величина припуска “А” равна 70%, “Б”- 20% и “В”- 10% от общего припуска на обработку того или иного конуса патронника.

Такое построение операций по обработке патронников определяется высокими требованиями к соосности элементов патронника с направляющей частью канала ствола. Поэтому при чистовой и окончательной обработке патронника, от выполнения которых в основном зависит соосность, в качестве базовой установочной поверхности служит канал ствола после образования в нем нарезов.

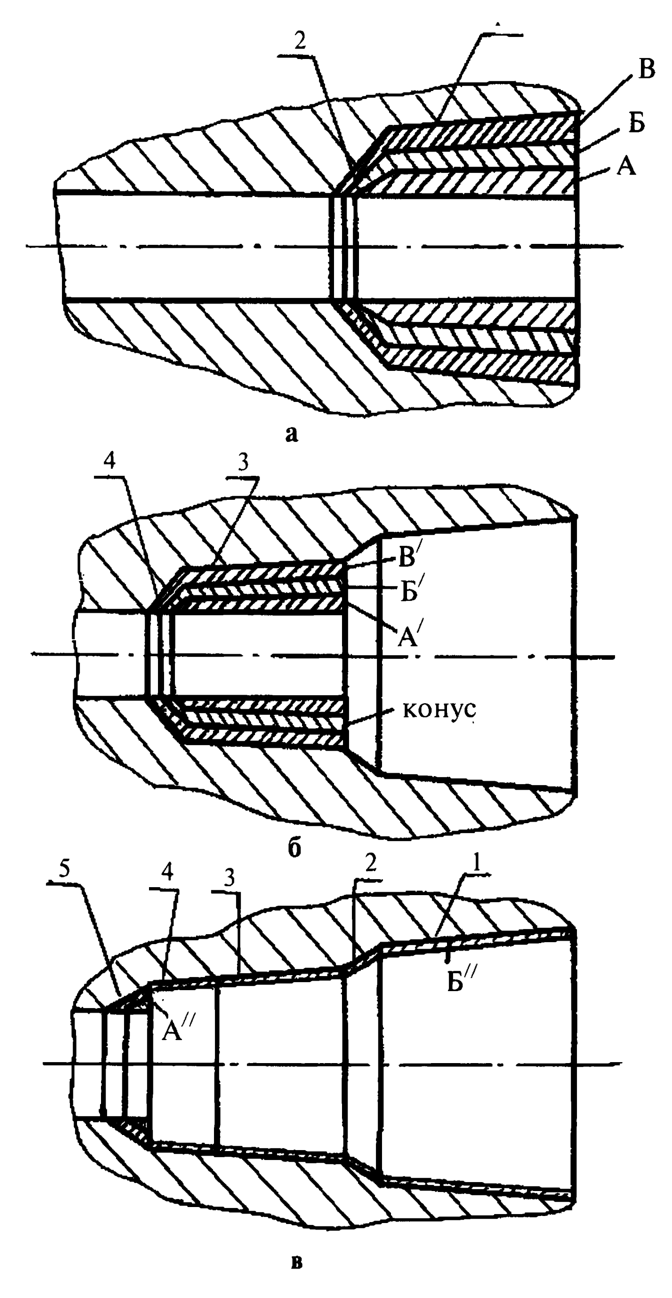


Рис. 13.1. Технологические схемы предварительной обработки патронника (а), чистовой (б) и окончательной (в): 1, 2, 3, 4, 5 - соответственно первый, второй, третий, четвертый и пятый конусы патронника.

13.2. ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПАТРОННИКОВ

Для обработки патронников применяются различные типы станков: токарные, сверлильные, револьверные, специализированные головки и специальные полуавтоматы и автоматы. В зависимости от типа станков вращательное движение сообщается либо развертке, либо стволу. В настоящее время на наших заводах для обработки патронников применяются многошпиндельные полуавтоматы. Стволы устанавливаются в вертикальном положении и имеют вращательное движение, а развертки только поступательное.

Наибольшее распространение получили шестишпиндельные вертикальные станки модели 152PC и 152PCA. В пяти рабочих позициях одновременно обрабатываются пять деталей, шестая позиция - загрузочная. Подача инструментов осуществляется от кулачков. СОЖ подается через внутреннюю полость детали навстречу режущему инструменту. Инструменты крепятся в плавающих патронах и своими направляющими самоустанавливаются по оси детали.

Технические характеристики станка 152PCA:

1. Наибольшие размеры обрабатываемой детали, мм
   длина..45
   ширина..850
2. Наибольший ход инструмента, об/мин..................150
3. Пределы чисел оборотов шпинделя, об/мин...........100 - 260
4. Пределы чисел оборотов блока кулачков
   подачи, об/мин..0,0775 - 0546
5. Суммарная мощность электродвигателей, кВт.......9,2
6. Производительность насоса СОЖ, л/мин..............50
7. Габаритные размеры, мм
   длина..1275
   ширина..1500
   высота...4000
8. Масса, кг..4000

Для обработки патронников применяются спиральные сверла, зенкеры и многозубые развертки. Спиральные сверла и зенкеры применяются на операции предварительной обработки первого и второго конусов патронника для удаления основной части припуска. Вся последующая обработка производится развертками.

В соответствии с построением операций обработки патронников каждая развертка предназначена главным образом для обработки двух конусов, обычно первого и второго, третьего и четвертого.

Для предварительной обработки первого и второго конусов применяются двух- и трехзубые развертки. Наибольшее распространение получили двухзубые развертки, которые легче в изготовлении и надежнее в эксплуатации, а также лучше отводят стружку.

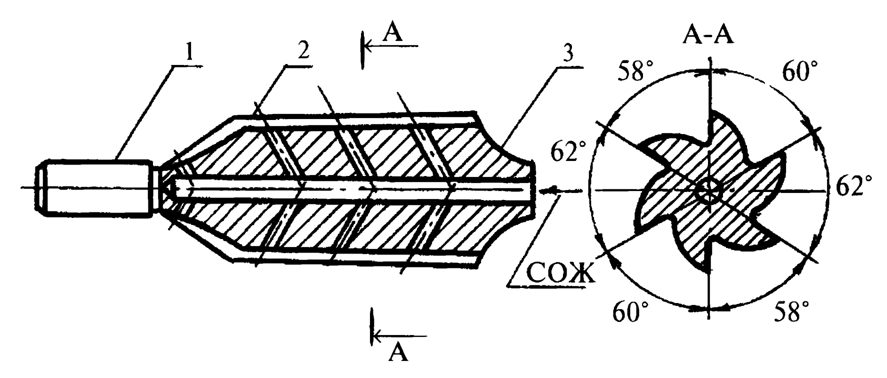


Рис. 13.2. Шестизубая развертка для обработки конусов патронника: 1 - направляющая, 2 - режущая часть, 3 - хвостовик

Пяти- и шестизубые развертки наиболее широко применяются для обработки всех конусов патронника (рис. 13.2). Десяти- и двенадцатизубые развертки служат главным образом для окончательной обработки патронника, в том числе для обработки пятого конуса - пульного входа. Характерным для расположения зубов развертки является неравномерный шаг между зубьями. Такие развертки обеспечивают получение правильной геометрической формы патронника (без огранки, овальности).

Для окончательной обработки элементов патронника используются шестизубые развертки с отрицательными передними углами, вследствии чего при развертывании получается шабрующий эффект и высокое качество поверхности.

Ответственной частью развертки является направляющая часть. Длина ее составляет до $5d$ в зависимости от калибра. Наружный диаметр направляющей части готовится по скользящей посадке и обеспечивает хорошее направление развертке. Для того, чтобы предохранить канал ствола от повреждения при развертывании, в некоторых конструкциях разверток направляющая часть выполнена в виде втулки, которая при обработке остается неподвижной относительно поверхности канала.

В качестве СОЖ для чистового и окончательного развертывания патронника применяются смеси веретенного масла с льняным, а для предварительной обработки - различные растворы эмульсий.

Настройка операции развертывания состоит в установлении осевого перемещения развертки в патроннике, поскольку развертка является мерным нерегулирующим инструментом.

Точность окончательно обработанного патронника в пределах Н8 - Н9, шероховатость - R_a = 0,16 - 0,32 мкм.

13.3. КОНТРОЛЬ ПАТРОННИКОВ

Контроль элементов патронника слагается из геометрического контроля и контроля качества поверхности.

Геометрический контроль имеет целью проверить размеры отдельных элементов патронника, их взаимное расположение относительно друг друга и относительно оси направляющей части канала ствола, а также относительно наружных поверхностей канала ствола. Схема контроля элементов патронника представлена на рис. 13.3.

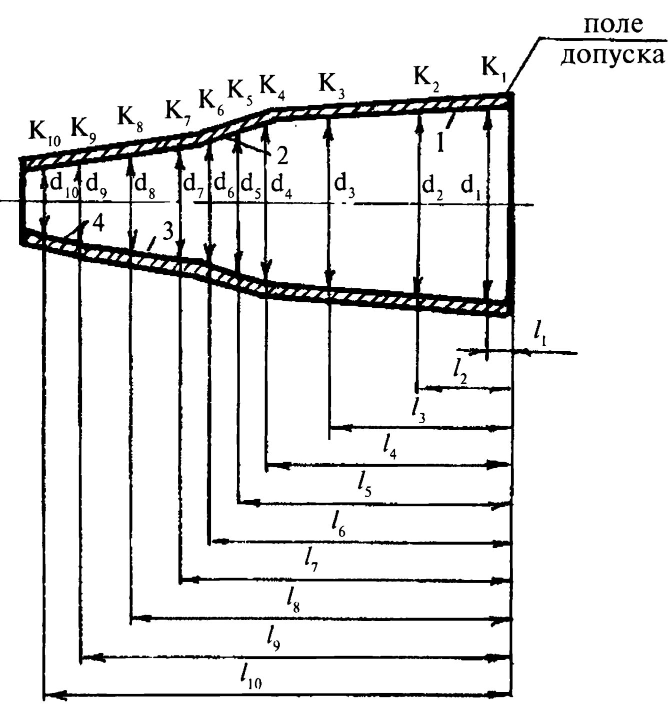


Рис. 13.3. Схема контроля конусов патронника

Контроль размеров элементов патронника осуществляется при помощи предельных калибров. По форме измерительного стержня калибры подразделяют на цилиндрические и конические. По способу взаимодействия с базой обмера (казенным срезом ствола) основными типами калибров являются калибры с рисками без втулок, с рисками со втулками и с выступами. Конические калибры в на-

стоящее время не применяются из-за низкого качества контроля и сложности их изготовления и эксплуатации. В основном применяются цилиндрические калибры, которые, обеспечивая высокое качество контроля, являются удобными и простыми как в изготовлении, так и в эксплуатации. Калибры с рисками являются наиболее распространенными. Применение однопредельных калибров увеличивает их количество. Применяются обычно двухпредельные калибры с рисками и втулками (рис. 13.4).

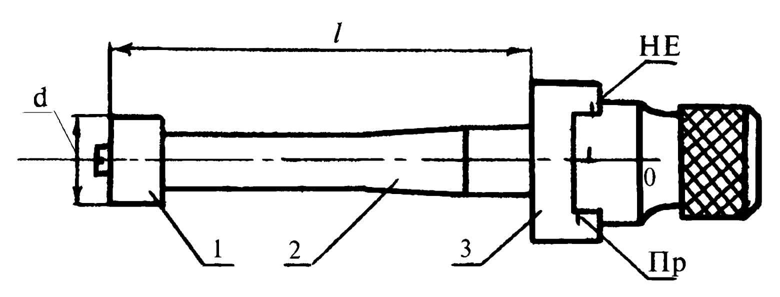


Рис. 13.4. Двухпредельный калибр: 1 - наконечник, 2 - стержень, 3 - втулка

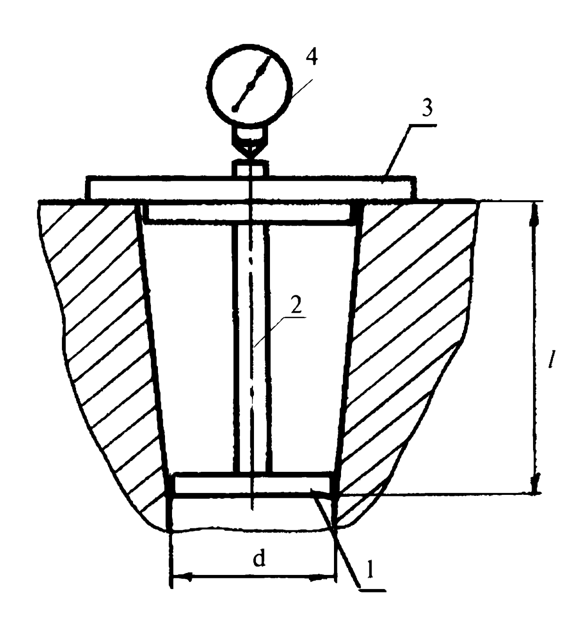


Рис. 13.5. Схема контроля индикаторным прибором: 1 - наконечник (медное кольцо), 2 - стержень, 3 - опорное кольцо, 4 - индикатор

Наряду с контролем патронников при помощи предельных калибров в практике часто появляется необходимость знания действительных элементов патронника. Для решения этой задачи используются индикаторные приборы (рис. 13.5) или многопозиционные пневматические звездки. Методика измерения индикаторным прибором заключается в том, что при данном диаметре "*d*" наконечника (мерного кольца), измеренного с точностью ±0,001мм, определяется расстояние "*l*" от торца наконечника до казенного среза ствола.

Калибр для контроля соосности элементов патронника является проходным. Установленный в патронник он должен ложиться торцем кольца, закрепленного на стержне калибра, на казенный срез ствола без просвета и перемещений в радиальном направлении.

Качество поверхности патронника определяется с помощью "серных" слепков (отпечатков).

14. ПРАВКА СТВОЛОВ

Правка стволов автоматического оружия является одной из самых трудоемких и малопроизводительных ручных операций. Механизация процессов правки стволов не решает общей проблемы, так как по своей сущности, заключающейся в изгибе ствола на определенную величину, она не позволяет сохранить прямолинейность оси канала ствола на последующих операциях. Поэтому в технологических процессах предусматривается сравнительно большее количество правочных операций (до восьми) после основных этапов механической и термической обработок. С внедрением процесса радиального обжатия уменьшается общее количество правок на стадии изготовления исходной заготовки, но после радиального обжатия количество их сохраняется. Практически после каждой операции снятия стружки с наружной поверхности требуется контроль и правка стволов по каналу. Это связано с тем, что при пластической деформации возникают внутренние остаточные напряжения сравнительно большой величины, различные по характеру (сжатия и растяжения) как по длине, так и по сечению детали.

Внутренние остаточные напряжения являются основным фактором, влияющим на геометрию и точность стволов. При этом, чем больше остаточные напряжения, тем больше вероятность искажения формы и снижения точности поверхности при последующей механической обработке. Полное отсутствие остаточных напряжений позволило бы получать высокоточные детали. Но такой технологии, которая обеспечивала бы получение деталей без остаточных напряжений, не существует.

В связи с этим разработан новый процесс вибрационной правки стволов под напряжением, который позволяет полностью автоматизировать операцию правки и значительно сократить количество последующих правочных операций. Схема процесса виброправки стволов под напряжением приведена на рис. 14.1. Стволу, установленному в жестком и плавающем зажимах, сообщается сложнонапряженное состояние путем растяжения и закручивания гидроприводами относительно оси и последующих радиальных колебаний от вибратора. Растягивающее усилие (P) должно быть таким, чтобы оно создавало напряжение растяжения ($\sigma_р$) в детали, не превышающее предела текучести материала. Такое же условие необходимо и для крутящего момента ($M_к$) относительно напряжения кручения ($\tau_к$). Направление крутящего момента должно совпадать с направлением винтовой линии нарезов в направляющей части канала ствола. Для гладкоствольных систем крутящий момент обязателен, но он может иметь произвольное направление относительно оси детали. Вибрация детали в радиальном направлении может осуществляться любыми вибраторами, которые устанавливаются обычно в средней ее части. Тип вибратора определяется размерами детали. Электромагнитные вибраторы обладают малой мощностью и непостоянством амплитуды. Поэтому для низкочастотных колебаний (до 200 Гц) используются механические и гидравлические вибраторы, которые обеспечивают постоянную амплитуду колебаний на большой мощности.

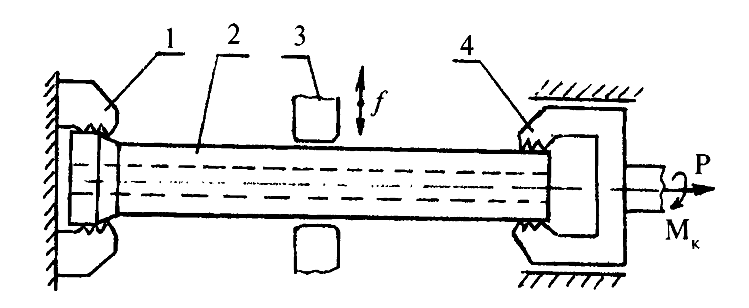


Рис. 14.1. Схема виброправки стволов под напряжением: 1 - жесткий захват, 2 - ствол, 3 - вибратор, 4 - плавающий захват

К режимам виброправки под напряжением относятся: напряжения при растяжении ($\sigma_р$) и кручении ($\tau_к$), частота колебаний (f), амплитуда колебаний (A) и продолжительность обработки (t). На рис. 14.2 приведен график применения величин напряжений (σ_t) и

непрямолинейности (Δ) в зависимости от режимов обработки. При правке стволов малого калибра (до 9мм) установлены следующие режимы: $\sigma_р$ = 400 - 500 МПа, $\tau_к$ = 40 - 50 МПа, А = 0,2 - 0,3 мм, f = 50Гц, t = 0,3 - 0,5 мин. Обработка по данным режимам позволяет снизить внутренние остаточные напряжения ($-\sigma_t$) в два раза, непрямолинейность оси (Δ) направляющей части канала ствола в три раза (по ТУ значение Δ составляет 0,055 мм на 300 мм длины).

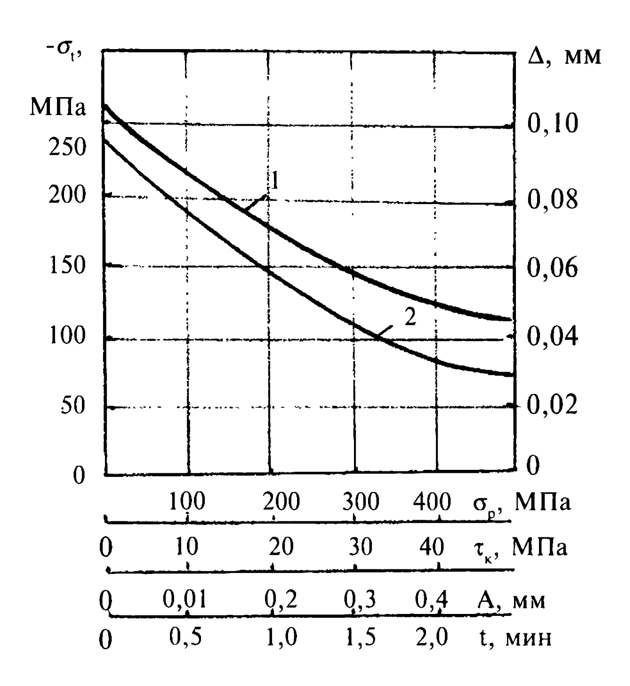


Рис. 14.2. Влияние режимов виброправки под напряжением на величину остаточных напряжений ($-\sigma_t$) и непрямолинейность (Δ) направляющей части канала ствола: 1 - напряжение, 2 - непрямолинейность

Приведенные режимы обработки справедливы для f=50Гц. Изменение частоты колебаний приведет к корректировке режимов обработки. Так, при использовании колебаний ультразвуковой частоты значительно уменьшаются амплитуда колебаний и время обработки. Описанный процесс правки легко автоматизируется и может быть встроен в автоматическую линию.

15. ОБРАБОТКА НАРУЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СТВОЛОВ

Основными методами обработки наружных поверхностей стволов являются точение на токарных станках, фрезерование и шлифование.

Установочными базами при обработке являются канал ствола и казенный срез. Для обточки наружных элементов ствол устанавливается в центре передней бабки с поводковым патроном и, как правило, во вращающийся центр задней бабки (рис. 15.1).

Обтачивание стволов обычно разделяется на две операции: черновое (предварительное) и чистовое (окончательное) обтачивание. При черновом точении снимают большую часть припуска. Обработка производится с большей глубиной резания и большей подачей. Черновое точение ствола, имеющего несколько ступеней, выполняется по различным схемам обработки. На рис. 15.1 представлены три схемы обтачивания ступенчатого ствола.

При обтачивании по схеме "а" каждую ступень ствола обтачивают, начиная с дульного среза, и таким образом всю обработку ствола производят за три прохода: за первый проход обтачивают ступени А, Б и В, за второй проход - ступени А и Б и за третий проход - ступень А.

При обтачивании по схеме "б" каждую ступень ствола обтачивают отдельно: ступень А вследствие большой глубины резания обтачивают за два прохода, ступени Б и В - за один проход.

Комбинированная схема обработки "в" предусматривает обтачивание ступени В за один проход, начиная с дульного среза, ступень А обтачивается за второй проход и ступень Б - за третий проход.

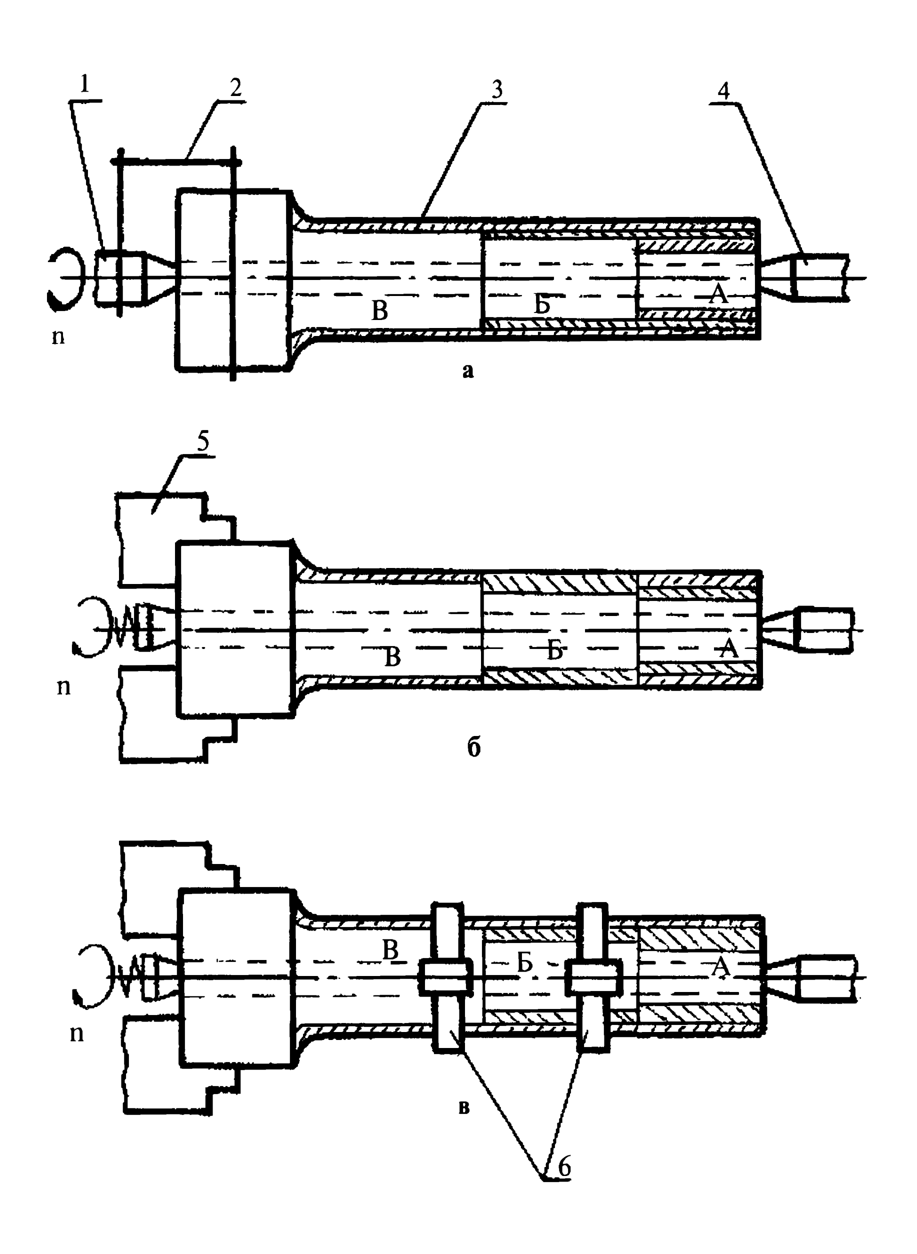


Рис. 15.1. Технологические схемы обтачивания наружных поверхностей стволов: а - последовательная, б - раздельная, в - комбинированная; 1 - центр, 2 - поводок, 3 - ствол, 4 - центр вращающийся, 5 - патрон, 6 - люнеты

На выбор той или иной схемы влияют величины припусков на отдельных ступенях ствола и соотношение размеров ступеней: диаметра и длины. Схема, обеспечивающая наименьшее время обработки, наиболее выгодна.

При чистовом обтачивании порядок обработки ступеней ствола зависит также от заданных баз, допускаемой величины погрешностей в размерах отдельных ступеней и методов измерения длин. При обтачивании ствола со значительной разницей в диаметрах первой (более толстой) стороны и концевой (более тонкой) следует стремиться как можно меньше ослаблять ствол при обработке, т.е. начинать обтачивать со ступени наибольшего диаметра, ступень наименьшего диаметра часто бывает целесообразно обрабатывать последней.

Во всех случаях обработки на токарных станках необходимо обращать внимание на прочное и надежное закрепление детали и резца. При обработке деталей в центрах и патронах выступающие части хомутика и кулачки патрона необходимо снабжать предохранительными откидными ограждениями или кожухами.

Обтачивание на токарных станках длинных конических стволов (с отношением длины к диаметру большим 10) производится с применением люнетов. Люнеты бывают неподвижные (рис. 15.1,в) и подвижные (рис. 15.2). Неподвижные люнеты бывают открытые, закрытые и с откидывающимися крышками. Неподвижный люнет устанавливается на станине станка, подвижный - на каретке (суппорте) станка. Подвижный люнет следует непосредственно за резцом, при этом обтачиваемая поверхность опирается на кулачки люнета, расположенные впереди резца. При скоростном резании кулачки создают значительное трение и для уменьшения трения их заменяют вращающимися роликами (рис. 15.2).

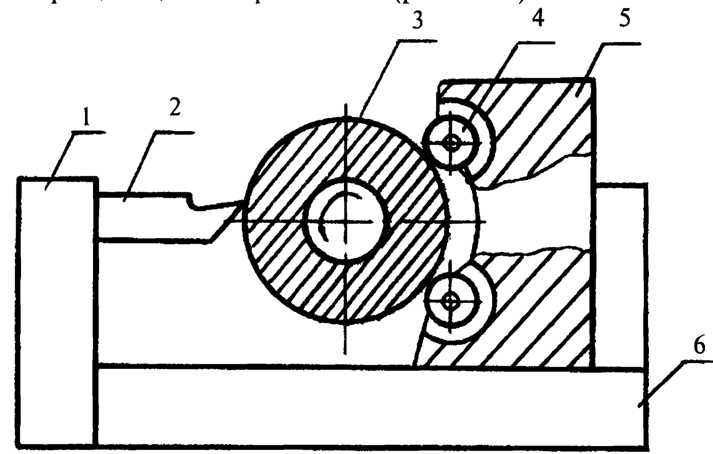


Рис. 15.2. Схема обтачивания с подвижным роликовым люнетом: 1 - резцедержатель, 2 - резец, 3 - ствол, 4 - ролик, 5 - каретка, 6 - суппорт

Принцип концентрации операций при токарной обработке осуществляется при обтачивании одновременно нескольких поверхностей вращения несколькими инструментами (резцами) на многорезцовых станках. Такие станки-автоматы и полуавтоматы широко применяются в серийном и массовом производствах. Обычно на многорезцовых станках имеются два суппорта - передний и задний. Передний суппорт, имеющий продольное (а также и поперечное) движение служит для продольного точения стволов. Задний суппорт, имеющий только поперечное движение, предназначен для подрезания торцов, прорезания канавок и фасонного обтачивания. Многоместные суппорты могут быть оснащены большим количеством резцов (до 20). Многорезцовые станки с большим расстоянием между центрами имеют два передних и два задних суппорта. Движение суппортов автоматизировано (закончив обработку, суппорты автоматически возвращаются в исходное положение).

Для чистовой обработки посадочных поверхностей под арматуру ствола применяется шлифование: обдирочное; точное, которое может быть предварительным и чистовым; тонкое.

Обдирочное шлифование применяется взамен предварительной обработки резанием лезвийным инструментом.

Наиболее распространенным является обычное точное шлифование, при котором точность обработки наружных цилиндрических поверхностей достигает 7 квалитета, а шероховатость R_a = 0,32 - 0,63 мкм.

Тонкое шлифование дает возможность получить более высокую точность обработки, соответствующую 6 квалитету и более высокое качество поверхности - R_a = 0,08 - 0,16 мкм. Тонкое шлифование осуществляется мягким мелкозернистым шлифовальным кругом при большой скорости его вращения (более 40 м/с), при малой скорости вращения обрабатываемой детали (до 10 м/мин) и малой глубине резания (до 0,005 мм). Шлифование сопровождается усиленным охлаждением обрабатываемой детали.

Шлифование наружных цилиндрических и конических поверхностей (называемое “круглым” шлифованием) производится на круглошлифовальных станках. Скорость вращения детали при шлифовании в зависимости от ее диаметра, применяется от 10 до 50 м/мин; скорость вращения шлифовального круга составляет 30 м/с, а при использовании более прочных кругов достигает 50 м/с. Продольная подача и глубина резания варьируются в зависимости от способов шлифования: с продольной или поперечной подачей.

Окончательную доводку посадочных поверхностей проводят суперфинишированием. Суперфиниш предусматривает обработку поверхности головкой (колодкой) с абразивными колеблющимися брусками, причем осуществляют три, а иногда и более движений: помимо вращения детали и продольного перемещения брусков,

последние совершают и колебательное осевое движение. Главным рабочим движением является колебательное движение головки с абразивными брусками (рис. 15.3), при этом ход брусков составляет 2 - 6 мм, а число двойных ходов (колебаний) в минуту - 200 - 1000. Число двойных колебаний брусков должно находиться в определенном соотношении с числом оборотов обрабатываемой детали. Скорость резания при суперфинише весьма низкая - от 1 до 2,5 м/мин. Удельное давление абразивных брусков на обрабатываемую поверхность при суперфинише очень мало - в пределах 0,0049 - 0,245 Мн/м^2 (меньшие значения - при окончательном суперфинише, большие - при предварительном), вследствие этого поверхность при обработке не нагревается и высота гребешков получается меньше, чем при хонинговании. Толщина снимаемого слоя металла 0,005 - 0,020 мм; продолжительность обработки обычно находится в пределах 0,2 - 0,5 мин. В качестве СОЖ применяется смесь керосина с маслом. Точность обработки достигает 6 квалитета, а шероховатость поверхности - R_z = 0,03 - 0,08 мкм. Наружная поверхность стволов имеет большое количество канавок, лысок, сложных фасонных поверхностей, обработка которых требует применение операции фрезерования. Операция выполняется многолезвийным инструментом - фрезой. Фреза получает вращение от шпинделя станка, а ствол, закрепленный в приспособлении на столе станка, имеет движение подачи. Поверхности обрабатываются торцевыми, цилиндрическими, концевыми и дисковыми фрезами с прямыми и винтовыми зубьями.

Фрезерование проводится двумя способами: встречное, иногда вращение фрезы направлено против подачи, и попутное, когда направление вращения фрезы совпадает с направлением подачи.

При втором способе производительность может быть больше и качество обработанной поверхности лучше, чем при первом, но при втором способе фрезерования зуб фрезы захватывает металл сразу на полную глубину резания и, таким образом, резание происходит с ударами. Ввиду этого второй способ фрезерования можно применять только для работы на станках с большой жесткостью конструкции и устройством для устранения зазоров в механизмах подачи. По этой причине первый способ фрезерования применяется чаще, чем второй.

Фрезерные станки разделяются на следующие виды: горизонтально-фрезерные, вертикально-фрезерные, универсально-фрезерные, продольно-фрезерные, карусельно-фрезерные, барабанно-фрезерные и специальные. Фрезерные станки первых трех видов являются станками общего назначения и применяются во всех типах производства; остальные относятся к высокопроизводительным и применяются в серийном, преимущественно крупносерийном и массовом производстве.

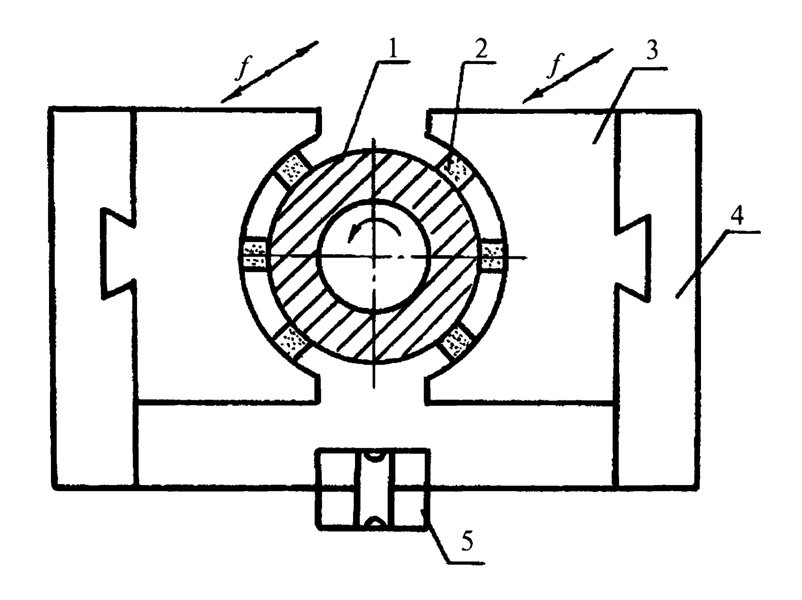


Рис. 15.3. Схема суперфиниширования: 1 - ствол, 2 - брусок абразивный, 3 - колодка, 4 - призма

В массовом производстве обработка наружных поверхностей ствола производится на нескольких автоматических линиях с жесткой связью. На первой и второй автолиниях производится черновое и чистовое обтачивание ствола на станках токарной группы (типа 137ТПБ), на третьей - фрезерование поверхностей на специальных станках (группы ФАС) и на четвертой - шлифование поверхностей на круглошлифовальных станках.

В состав автоматических линий кроме станков входят транспортная система и система управления. Транспортная система состоит из устройства для перемещения деталей, загрузочных, поворотных, ориентирующих устройств, приспособлений для установки и закрепления обрабатываемых заготовок, устройств для отвода стружки и накопительных заделов.

В автолиниях для перемещения обрабатываемых деталей с одной рабочей позиции на другую применяют различные транспортные средства - конвейеры, механические руки (автооператоры), а также лотки и трубы.

Приспособления для установки и закрепления заготовок на автолиниях применяют двух видов: стационарные и приспособления-спутники. Стационарные приспособления предназначены только для

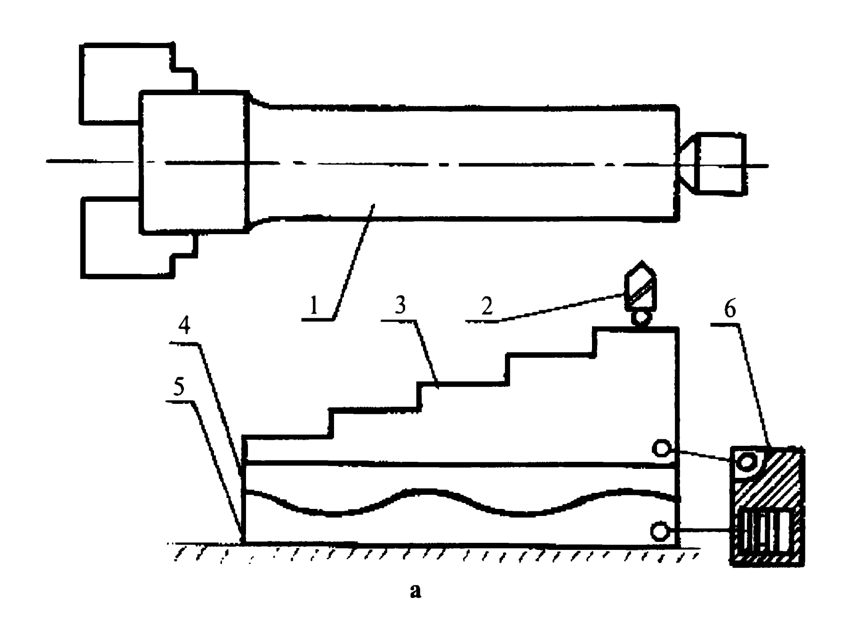
выполнения определенной операции обработки на одном определенном станке. Эти приспособления выполняют следующие функции: предварительное ориентирование заготовки, базирование, окончательное ориентирование и фиксирование ее в этом положении, закрепление и раскрепление, направление движения режущих инструментов при обработке (рис. 15.4). В стационарных приспособлениях заготовки устанавливаются автоматически.

Приспособления-спутники служат для закрепления заготовок сложной конфигурации, не имеющих удобных поверхностей для надежного базирования при транспортировании и обработке. Эти приспособления сохраняют ориентацию при транспортировании и легко базируются, фиксируются и закрепляются в рабочих позициях линии. Установку и закрепление заготовок в таких приспособлениях, а также освобождение и удаление готовых деталей осуществляются вручную или автоматически с помощью специальных устройств, установленных в начале автолинии.

Для уменьшения потерь рабочего времени, связанного с наладкой отдельных станков автолинии, ее разделяют на отдельные участки, каждый из которых при остановке других может работать самостоятельно. Чтобы каждый участок линии мог работать независимо от других, перед началом каждого из участков создают межоперационные заделы. Для приема, хранения и выдачи деталей из межоперационных заделов на линиях применяют специальные автоматические накопители. Накопительные устройства делятся на два вида: транзитные (проходные) и тупиковые. Транзитные накопители устроены так, что заготовки перемещаются в них при нормальной работе линии, т.е. для выдачи из накопителя одной заготовки необходимо перемещать все заготовки, находящиеся в нем. Тупиковые накопители сконструированы так, что при бесперебойной работе двух смежных участков линии поток деталей с предыдущего участка поступает на последующий, минуя накопитель. Накопитель включается в работу только в случае остановки предыдущего участка линии.

Для последовательной работы всех механизмов автолиний применяется комплекс автоматического управления, включающий: систему управления всеми и очередностью работы основных и вспомогательных механизмов; систему блокирования, обеспечивающую безаварийность работы машин, механизмов и инструментов; систему регулирования, служащую для подналадки станков и инструментов; систему контроля, служащую для контроля размеров обрабатываемых заготовок; систему сигнализации, облегчающую обслуживание машин; программируемые контроллеры.

В перечисленных системах автоматического управления применяются электрические, гидравлические и пневматические устройства связи. Устройства связи (цепи управления), в свою очередь подразделяются на внешние, внутренние, промежуточные и вспомогательные.



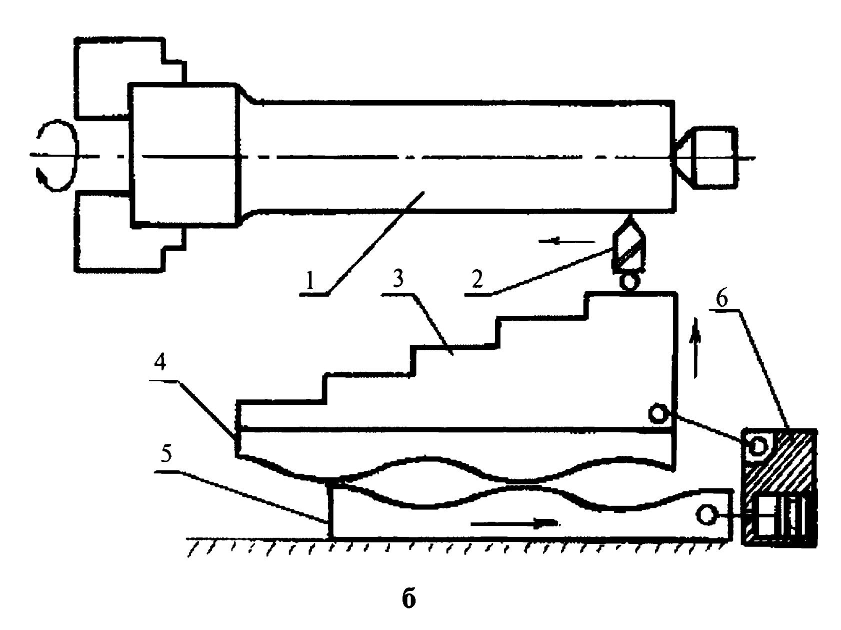


Рис. 15.4. Схема автоматизации движения режущего инструмента: 1 - ствол, 2 - резец, 3 - копир, 4 - линейка передняя профильная, 5 - линейка задняя профильная, 6 - привод

Внешние связи управления обеспечивают согласованную работу нескольких независимых друг от друга участков автоматической линий. Промежуточные связи обеспечивают согласованную работу отдельных станков какого-либо участка. Внутренние связи представляют собой цепи управления, обеспечивающие последовательную работу отдельных механизмов станков, входящих в автолинию. Вспомогательные связи управляют последовательностью фаз работы отдельных агрегатов с другими системами управления. Внешние и вспомогательные связи почти всегда бывают электрическими, а промежуточные - комбинированными (электромеханическими, электрогидравлическими или электропневматическими). Внутренние связи - механические, электрические, пневматические, гидравлические и комбинированные.

На автолиниях применяются различные системы управления последовательностью фаз работы основных и вспомогательных агрегатов (централизованные, децентрализованные и смешанные), которые выбираются в зависимости от назначения и состава оборудования, размера линии, а также длительности цикла ее работы.

В автолиниях применяются следующие способы удаления стружки: механический - с помощью скребков, щеток, винтовых конвейеров; гравитационный, когда стружка подается на наклонную плоскость и скатывается в специальный стружкосборник; смывание стружки струей жидкости; сдувание стружки сжатым воздухом; с помощью электромагнитов.

Снабжение автолиний СОЖ осуществляется несколькими способами: централизованным от общезаводской системы; от специально изготовленной для данной линии станции очистки и подачи СОЖ к отдельным станкам; от местных станций для очистки и подачи СОЖ (станции устанавливаются на тех станках линии, обработку на которых производят с охлаждением).

В серийном производстве широко применяются интегрированные роботизированные гибкие производственные системы, состоящие из станков с числовым программным управлением (ЧПУ), которые управляются непосредственно от ЭВМ без применения (или с применением) индивидуальных пультов управления, а также станков типа "обрабатывающий центр" (ОЦ1И-22, ВМ500МФ4, ВМ501, ИР500МФ4 и др.).

Участок имеет автоматизированную транспортно-складскую систему, которая служит для оперативного хранения и транспортирования заготовок, полуфабрикатов и обработанных деталей.

Станки оборудованы системами автоматической смены инструмента.

Управление всей работой интегрированной роботизированной гибкой производственной системы от единой ЭВМ способствует улучшению организации работы, сокращению периода прохождения заготовок по участку и приводит к значительному повышению производительности труда.

16. ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТВОЛОВ

Термическая обработка стволов подразделяется на предварительную, окончательную и термическую обработку отдельных элементов ствола, например “пенька” (казенного среза ствола).

Задачей предварительной термообработки является: снятие остаточных напряжений, возникающих при пластической деформации (прокатке, высадке и ковке и т.д.) заготовок стволов; подготовка структуры материала к последующей закалке и отпуску. Проведение ее облегчает выполнение механической обработки и прежде всего операций, связанных с обработкой глубоких отверстий. Предварительной термообработкой для сталей типа 50РА является нормализация, а для сталей типа 30ХН2МФА и ОХН3МФА - изотермический отжиг или нормализация.

Нормализация стволов из сталей типа 50РА производится при температуре нагрева 810-830°С и выдержкой при этой температуре в течение 1-2 часов и последующим охлаждением на воздухе.

График изотермического отжига стволов из сталей типа 30ХН2МФА и ОХН3МФА приведен на рис. 16.1.

Твердость нормализованных и отожженных стволов должна быть не более 240 единиц по Бринелю.

Стволы с повышенной твердостью подвергают дополнительному нагреву при температуре 600-650°С с 2-5 часовой выдержкой и последующим охлаждением на воздухе.

Задачей окончательной термообработки является получение требуемых механических характеристик материала ствола. Окончательная термообработка состоит из закалки и отпуска. Для стволов из сталей типа 50РА она проводится после операции глубокого сверления, для стволов из стали 30ХН2МФА - в заготовке, а для стволов

из стали ОХН3МФА - после глубокого сверления, чернового растачивания и чернового обтачивания наружной поверхности.

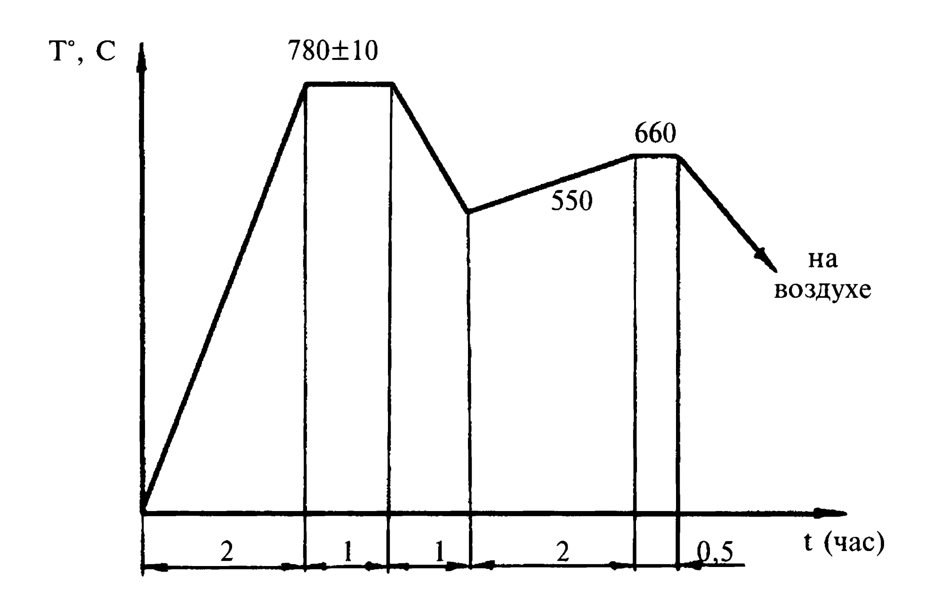


Рис.16.1. График изотермического отжига стволов

Нагрев для закалки проводится в газовых печах или свинцовых ваннах. Применяется двухступенчатый нагрев с последовательным погружением стволов в две свинцовые ванны с целью более равномерного прогрева стенки ствола. В первой ванне при температуре 700-750°С производится предварительный нагрев в течение 2-5 минут. Стволы загружаются в ванны в вертикальном положении и удерживаются от всплывания специальными державками. Закалка стволов производится в специальных закалочных аппаратах (рис. 16.2) или многоместных кассетах. В качестве охлаждающей жидкости используется машинное масло. Продолжительность нагрева и охлаждения стволов зависит от толщины стенок, а также от температуры масла, которая в процессе закалки колеблется в пределах 30-70°С. Температура отпуска находится в пределах 520-650°С при нагреве в газовых печах или свинцовых ваннах с последующим охлаждением на воздухе.

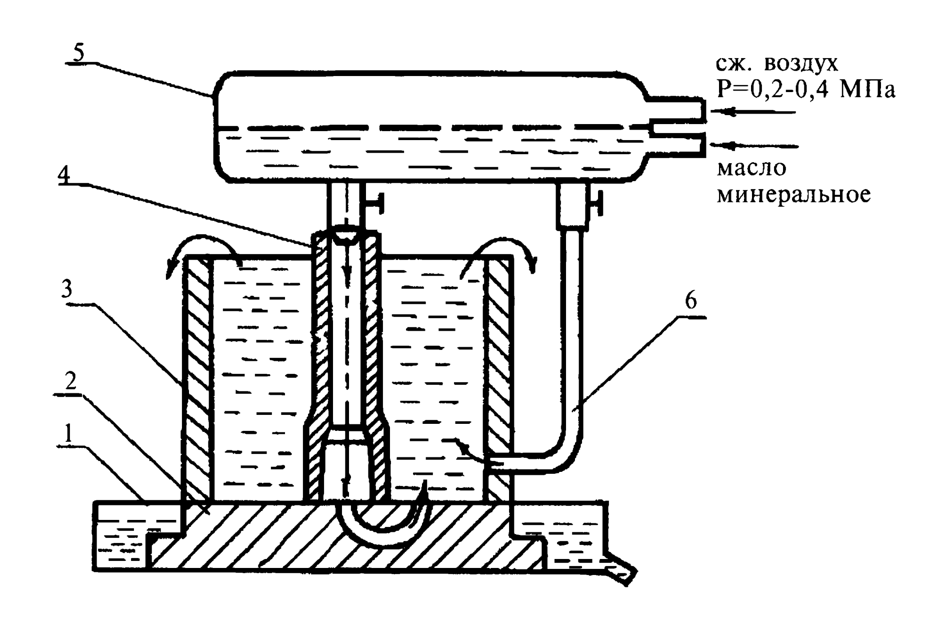


Рис. 16.2. Схема закалки стволов в закалочном аппарате: 1 - бак сливной, 2 - основание, 3 - кожух, 4 - ствол, 5 - бак, 6 - маслопровод

При нагреве в свинцовых ваннах поверхность стволов покрывается окислами свинца и окалиной, которые удаляются перед дальнейшей обработкой путем травления в 10 - 12% водном растворе серной кислоты, подогретой до 80-90°С. После травления стволы промывают водой и нейтрализуют раствором поташа.

Для закалки стволы из сталей 30ХН2МФА и ОХН3МФА нагреваются до температуры 870-890°С. Охлаждение стволов проводится в минеральном масле с температурой 30-90°С. Температура отпуска находится в пределах 550-680°С.

Качество термообработки контролируется измерением твердости по Бринелю (она находится в пределах НВ 300-350). Для ствольных сталей допускаются две повторные термообработки.

Пенек ствола закаливается токами высокой частоты до $HRC_э$ 37 - 44.

17. АНТИКОРРОЗИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ И ХРОМИРОВАНИЕ КАНАЛОВ СТВОЛОВ

Коррозия оружия может происходить при хранении и эксплуатации, при этом основным фактором, вызывающим коррозию, являются атмосферные условия (изменение температуры воздуха, дождь, туман, конденсационная влага, пыль, грязь, морская вода и т.д.), ввиду чего такую коррозию называют атмосферной [17]. Для предохранения деталей оружия от коррозии производят специальные покрытия поверхностей деталей. Наружные поверхности стволов и многих других деталей, не подвергаемые в процессе работы истиранию, обычно оксидируют. Детали, подвергаемые в процессе работы истиранию, фосфатируют (пассивируют) или кадмируют. Детали станков предохраняют от коррозии путем грунтовки и последующей окраски. Каналы стволов автоматического оружия подвергают хромированию.

17.1. ОКСИДИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Имеются два способа оксидирования: кислотный и щелочной. Наибольшее распространение получило щелочное оксидирование.

Сущность щелочного оксидирования заключается в образовании на поверхности стальных деталей защитной оксидной пленки, полученной от окисления металла в кипящем водном растворе едкого натрия с добавками окислителей. Рецептура и режимы оксидирования приведены в табл. 17.1.

Таблица 17.1

Рецепты и режимы оксидирования

№ п/п	Состав оксидирующего раствора	Температура раствора, °С	Продолжительность оксидирования, мин	Цвет покрытия
1	Едкий натрий - 700 г; Нитрат натрия - 200 г; Дубильный экстракт - 6 г; Вода - 1л.	138-142	90	Черный блестящий
2	Едкий натрий - 650 г; Нитрат натрия - 120 г; Нитрид натрия - 40 г; Бура - 2 г; Вода - 1 л.	120-138	90	Черный блестящий
3	Едкий натрий - 600 г; Нитрат натрия - 150 г; Вода - 1 л.	138-142	90	Черный блестящий

Толщина оксидной пленки находится в пределах 0,6 - 1,2 мкм. Пленка толщиной менее 0,6 мкм не обеспечивает защиты основного металла от коррозии. При толщине пленки более 1,2 мкм покрытие становится рыхлым и легко удаляется с поверхности детали. Наиболее рациональна толщина пленки 0,8 - 1,0 мкм.

Типовая схема технологического процесса следующая: механическая обработка, обезжиривание деталей, промывка в холодной проточной воде, травление, промывка в холодной проточной воде, оксидирование поверхностей, промывка деталей в непроточной воде (это делается для улавливания частиц компонентов раствора с целью добавления его в ванну оксидирования по мере изменения концентрации раствора), промывка в холодной проточной воде, кипячение в 5 %-ном мыльном растворе в течение 30 мин, промывка в холодной проточной воде, сушка деталей в сушильном шкафу при температуре 110 - 120°С, погружение деталей в горячее масло, протирка деталей ветошью.

Все покрытия подвергаются следующим видам испытаний:

1) контроль химической стойкости покрытий путем растворения оксидной пленки в 0,2 %-ном водном растворе серной кислоты. При выдержке в этом растворе в течение 30 секунд покрытия не должны изменять своего внешнего вида;

2) контроль механической прочности покрытий и прочности сцепления с основным металлом;

3) контроль сплошности покрытия.

Оксидные покрытия имеют следующие дефекты:

красновато-бурый налет вследствие плохой промывки после оксидирования;

зеленый цвет покрытия вследствие оксидирования при повышенной температуре;

пятна серого или бурого цвета, полученные в результате загрязнения ванны или недостаточного обезжиривания деталей.

Устранение дефектов проводится путем травления в 10-12% водном растворе соляной кислоты.

Оксидные покрытия имеют следующие недостатки: низкая антикоррозионная стойкость; с течением времени цвет покрытия изменяется; появление трещин в местах, имеющих концентраторы напряжений.

Поэтому вместо оксидирования в последнее время в массовом производстве применяют фосфатирование поверхностей.

17.2. ФОСФАТИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Фосфатированные детали обладают значительно большей коррозионной стойкостью по сравнению с оксидированными. Фосфатирование проводится химическим способом и заключается в нанесении на поверхность деталей защитной фосфатной пленки. Фосфатирование проводится в ваннах с жидкостью следующего состава: 33 - 40 г соли “Мажеф” (марганец - железо - фосфор) на 1 л. воды. Детали выдерживают в ваннах продолжительностью до 60 мин при температуре 97 - 99° С. Перед фосфатированием также проводится тщательное обезжиривание и предварительный подогрев деталей. Слой покрытия - до 30мкм, а при фосфатном пассивировании - до 10мкм. При полном фосфатировании цвет покрытия черный блестящий, а при фосфатном пассивировании серебристо-серый.

Если фосфатирование применяют в качестве грунта для последующей окраски деталей, процесс в этом случае производят ускоренным методом получившим название бондеризации.

Для повышения стойкости фосфатного покрытия при длительном хранении и эксплуатации его подвергают дополнительной пропитке лаком. Поэтому такое покрытие получило название фосфатно-лаковое покрытие, которое широко используется не только для стволов, но и для других деталей оружия.

17.3. КАДМИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Кадмирование проводится для трущихся деталей оружия как с целью уменьшения сил трения, так и для повышения их коррозионной стойкости. Кадмий более устойчив во влажной атмосфере и

морской воде, поэтому кадмиевые покрытия используются для изделий, работающих в странах с тропическим климатом. Кадмирование проводится электролитическим методом при плотности тока 1,5 А/дм^2. Толщина слоя изделия находится в пределах 6 - 16 мкм.

В последнее время для нанесения высококачественных покрытий применяется вакуумное кадмирование. Поверхность детали обезжиривается в парах органического растворителя и подвергается пескоструйной или дробеструйной обработке в “сухой” комнате с искусственной атмосферой, имеющей очень низкую точку росы (-20° С), для устранения возможности попадания влаги на очищенную поверхность детали. Подготовленные таким образом детали укрепляются на специальном держателе, который после завешивания образцов вдвигается на специальных салазках в вакуумную камеру. В процессе откачки при давлении 8 Па в камере возбуждается тлеющий разряд и осуществляется ионная бомбардировка поверхности деталей. Положительный полюс высоковольтного источника (5 кВт, 4 А) постоянного тока подведен к изолированному электроду, расположенному вблизи стенки камеры. Отрицательный полюс источника, камера и держатель с деталями заземлены. Таким образом, защищаемая поверхность деталей является катодом тлеющего разряда. Обработка в разряде осуществляется до тех пор, пока давление не достигает 5 Па. Давление в камере к началу процесса кадмирования составляет $1{,}1 10^{-2}$ Па.

Несколько стальных тиглей с кадмием, расположенных вдоль дна камеры, нагреваются индукционным методом. Держатель с деталями вращается над испарителями. Время нанесения покрытия составляет 20 - 40 мин, скорость конденсации кадмия 0,25 мкм/мин. Детали специально не нагреваются и не охлаждаются. За счет излучения от испарителей и выделения теплоты конденсации изделия происходит небольшое повышение температуры деталей (не выше 70° С). После окончания цикла напыления и охлаждения испарителей в вакуумную камеру впускают сухой чистый воздух, дверцу камеры открывают и держатель с покрытыми кадмием деталями извлекают из камеры.

Кадмиевые покрытия удовлетворяют всем требованием военной приемки:

полное отсутствие водородной и хлорной хрупкости;

покрытие не шелушится, не вспучивается, не отслаивается, когда испытуемый образец зажимается в тиски и подвергается изгибу на 180° (на 90° в одну и другую сторону);

покрытие выдерживает 192 ч. испытаний в солевом тумане (климатической камере);

пористость покрытия аналогична пористости электролитического кадмирования.

17.4. ХРОМИРОВАНИЕ КАНАЛОВ СТВОЛОВ

В настоящее время хромированию подвергаются почти все стволы автоматического оружия для повышения их живучести (главным образом для повышения их износостойкости против механического истирания поверхности каналов стволов оболочной пули), а также антикоррозионной и эрозионной стойкости. Поверхность канала ствола хромируется полностью, т.е. направляющая часть, пульный вход и патронник, что делается для большинства хромируемых стволов, или частично - направляющую часть канала ствола и пульный вход.

Применяется “тонкое” и “толстое” хромирование. Толщина хрома при “тонком” хромировании достигает до 50 мкм, а при “толстом” - свыше 50 мкм. Применением “толстого” хромирования может быть повышена живучесть ствола.

Сущность электролитического хромирования состоит в том, что при пропускании постоянного тока через водный раствор солей металла атомы последнего выделяются на катоде (стволе), образуя металлическое покрытие [18]. Так как при хромировании ствола анод расположен в его канале, то хромируемой поверхностью будет являться поверхность канала ствола. Применяются неподвижные и подвижные (вращающиеся и самоустанавливающиеся) опоры. Подготовка стволов для хромирования начинается с осмотра канала и контроля его с целью сортировки по размерам на группы, в зависимости от чего устанавливается продолжительность операции хромирования. Непосредственная подготовка ствола для хромирования заключается в обезжиривании, травлении и промывке.

В качестве неподвижного анода применяется стальная калиброванная проволока диаметром 0,3d (где d - минимальный диаметр канала ствола). Для увеличения электропроводности анода его покрывают медью электролитическим или химическим методом. Центрирование, натяжение и изоляция анода производятся при помощи специальных головок, надеваемых на казенную и дульную срезы ствола.

Подвижные катоды позволяют получать более равномерный слой покрытия по полям и нарезам.

Различают блестящие, матовые (пористые) и серые осадки хрома. При хромировании каналов стволов добиваются получения блестящих осадков хрома. Они обладают наибольшей микротвердостью (до 1200 МПа) и более высокой износостойкостью. Для получения блестящих осадков хрома применяется следующий состав хромировочной ванны: хромовый ангидрид (CrO_3) - 150 - 180 г, серная кислота (H_2SO_4) - 1,5 - 2,5 г, вода (H_2O) - 1 л. Хромирование ведется при температуре электролита 65 - 75°C и плотности тока 100 - 150 А/дм^2.

При хромировании выделяется газообразный водород, часть которого проникает в покрытие и даже в основной металл, что приводит к “водородной хрупкости” поверхности. Для устранения

данного явления применяется стабилизирующий отпуск деталей при температуре 220-240° С в течение 2 - 5 часов.

В серийном производстве хромирование каналов стволов производится на линиях проточного хромирования, где межоперационная транспортировка стволов производится вручную или механизированно (тельфером).

В поточно-массовом производстве хромирование каналов стволов проводится на автоматических линиях скоростного хромирования (АСХ), на которых все операции осуществляются без участия человека.

Оборудование линии размещено на двух этажах. На первом этаже установлены баки с технологическими растворами щелочного обезжиривания, хромирования и промывки, оснащенные погруженными титановыми насосами и трубопроводы с распределительной арматурой, ванна окончательной промывки стволов и приспособлений, стеллажи для хранения стволов и анодов. Такой принцип размещения оборудования способствует быстрому сливу растворов самотеком из гидросистемы в технологические баки и позволяет исключить непосредственный контакт обслуживающего персонала линии с агрессивными средами, что существенно улучшает санитарно-гигиенические условия труда в гальванических цехах.

Накопленный опыт внедрения автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) хромирования на предприятиях отрасли показал, что одним из важных звеньев при создании и внедрении АСУ ТП является степень готовности оборудования и всего технологического процесса к управлению от ЭВМ.

При хромировании каналы стволов имеют следующие дефекты:

"наросты" хрома (рыхлые осадки хрома темного цвета) вследствие неправильного положения анода в канале ствола, местной неровности анода при недостаточном натяжении и недоброкачественности самих анодов, связанной с неравномерностью покрытия их слоем меди;

"кольца" хрома (в отдельных сечениях по длине ствола образуются местные кольцевые утолщения хрома) вследствие использования анодов, у которых в отдельных местах разрушено медное покрытие (в таких местах в канале будет откладываться меньше хрома);

выкрашивание и отслаивание (шелушение) хромовых покрытий из-за наличия на поверхности канала жировых веществ (или окислов), не удаленных при обезжиривании канала ствола;

несоответствие размеров канала ствола техническим условиям в результате неправильно назначенной продолжительности процесса хромирования.

Дефекты устраняются расхромированием путем травления в 10 - 12 % водном растворе соляной кислоты в течение 10 - 15 ч. После этого производится нейтрализация, промывка и протирка канала ствола, а затем они подвергаются повторному хромированию.

18. ПРОИЗВОДСТВО СКРЕПЛЕННЫХ СТВОЛОВ

Скреплением называется процесс повышения прочности стволов за счет обеспечения благоприятного распределения внутренних остаточных напряжений по толщине стенки ствола.

Скрепление может производиться при горячем и холодном ведении процесса.

Горячее скрепление проводится кольцами, кожухами и оболочками в один или несколько рядов. При этом скрепляемым элементом является труба, а скрепляющим - кольцо, кожух или оболочка (рис. 18.1). Перед скреплением скрепляющий элемент нагревается до температуры 450-550°С в газовых или индукционных печах. Нагрев в индукционных печах имеет следующие преимущества: удобст-

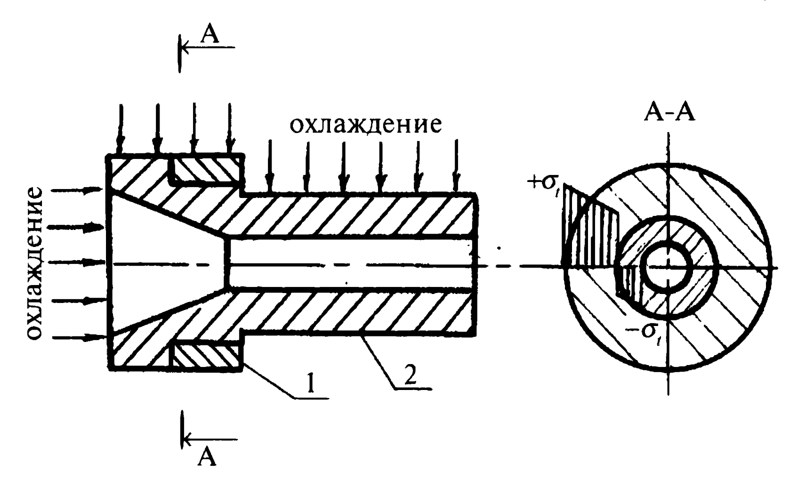


Рис. 18.1. Схема горячего скрепления стволов: 1 - кожух, 2 - труба

во обслуживания и управления процессом нагрева, высокая безопасность и культура производства, равномерность нагрева деталей.

Технологический процесс горячего скрепления состоит из нескольких этапов:

механическая обработка скрепляемого и скрепляющего элементов до требуемого фактического натяга под скрепление;

обмер и сортировка элементов на группы;

нагрев скрепляющих элементов до заданной температуры и быстрая подача их к прессу;

скрепление ствола в вертикальном положении;

охлаждение ствола изнутри и снаружи водой или специальными растворами.

После охлаждения по толщине стенки ствола возникает благоприятная эпюра внутренних остаточных тангенциальных (касательных) напряжений: на поверхности канала сжимающих ($-\sigma_t$), а на наружной поверхности - растягивающих ($+\sigma_t$). Величина остаточных сжимающих напряжений достигает 400 МПа, а растягивающих - до 200 МПа. Глубина залегания сжимающих напряжений распространяется на всю толщину скрепляемого элемента (трубы).

Холодное скрепление (рис. 18.2.) осуществляется: намоткой проволоки, автофретированием и замораживанием жидкости.

Скрепление намоткой проволоки осуществляется на станках токарного типа. Используется патентированная проволока с пределом прочности 2000 - 2200 МПа. Диаметр проволоки определяется размерами скрепляемого элемента. Толщина намотки проволоки в 8 - 10 раз превосходит толщину скрепляемого элемента (трубы). Скрепление может проводиться частично (только в зоне максимального рабочего давления) или полностью на всю длину ствола. Намотка проволоки проводится с натяжением усилием "Р", создающим напряжение растяжения в проволоке не превышающем предел текучести материала. При этом величина сжимающих напряжений достигает 500 МПа, а глубина их залегания - на всю толщину трубы.

Скрепление автофретированием или автоскрепление (самоупрочнение) осуществляется сообщением пластической деформации изнутри ствола внутренним высоким давлением жидкости. Для этого используются специальные сооружения с мультипликаторами, создающими давление в канале ствола до 1500 - 2000 МПа. При этом стенка ствола - моноблока испытывает упругие и пластические деформации в результате чего после снятия нагрузки по толщине стенки ствола возникает благоприятная эпюра внутренних остаточных напряжений. Величина сжимающих напряжений достигает до 500 МПа, а глубина залегания - до 10 % от общей толщины стенки ствола.

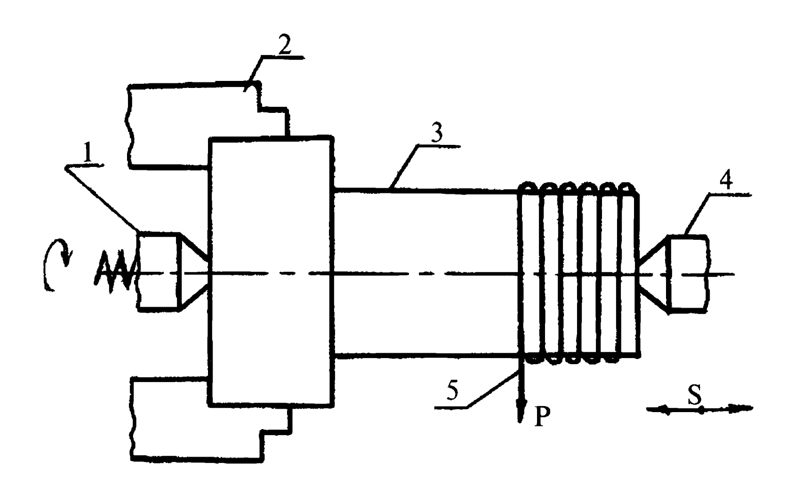


Рис. 18.2. Схема холодного скрепления стволов намоткой проволоки: 1 - центр плавающий, 2 - патрон, 3 - труба, 4 - центр вращающийся, 5 - проволока

Такой же эффект наблюдается и при автофретировании замораживанием жидкости до -50...-60°С.

Достоинством процесса скрепления является повышение прочности стволов на 20 - 30 % при сохранении их живучести.

Основным недостатком рассмотренных процессов скрепления стволов является релаксация внутренних остаточных напряжений в процессе эксплуатации в результате нагрева поверхности канала ствола.

19. ПРОИЗВОДСТВО СТВОЛОВ РАДИАЛЬНЫМ ОБЖАТИЕМ

Радиальным обжатием называется процесс уменьшения площади поперечного сечения заготовки под воздействием перемещающегося в радиальном направлении инструмента (бойка) при относительном вращении и перемещении заготовки (ГОСТ 18970-84).

Обжатию могут подвергаться сплошные и трубчатые осесимметричные детали с вытянутой осью. Радиальное обжатие (РО) трубчатых деталей может быть оправочным и безоправочным. Высокоточные детали (стволы) изготовляются только радиальным обжатием на оправке (рис. 19.1).

Существует два способа радиального обжатия: при холодном и горячем ведении процесса. Горячее радиальное обжатие (ГРО) применяется при изготовлении тонкостенных трубчатых деталей (например, заготовок стволов охотничьих ружей) и крупногабаритных деталей (например, стволов артиллерийских систем). При холодном радиальном обжатии (ХРО) достигается более высокая точность и качество обработанных деталей [20 - 24].

Радиальное обжатие применяется с целью снижения трудоемкости изготовления стволов за счет совмещения операций, связанных с формообразованием канала ствола и патронника, а также повышения производительности и качества выпускаемой продукции.

Технология радиального обжатия стволов включает следующие этапы: анализ напряженно-деформированного состояния, анализ технологичности детали, проектирование поковки, определение формы и размеров заготовки и способа ее получения, определение последовательности и содержания технологических операций, выбор и проектирование средств технологической документации.

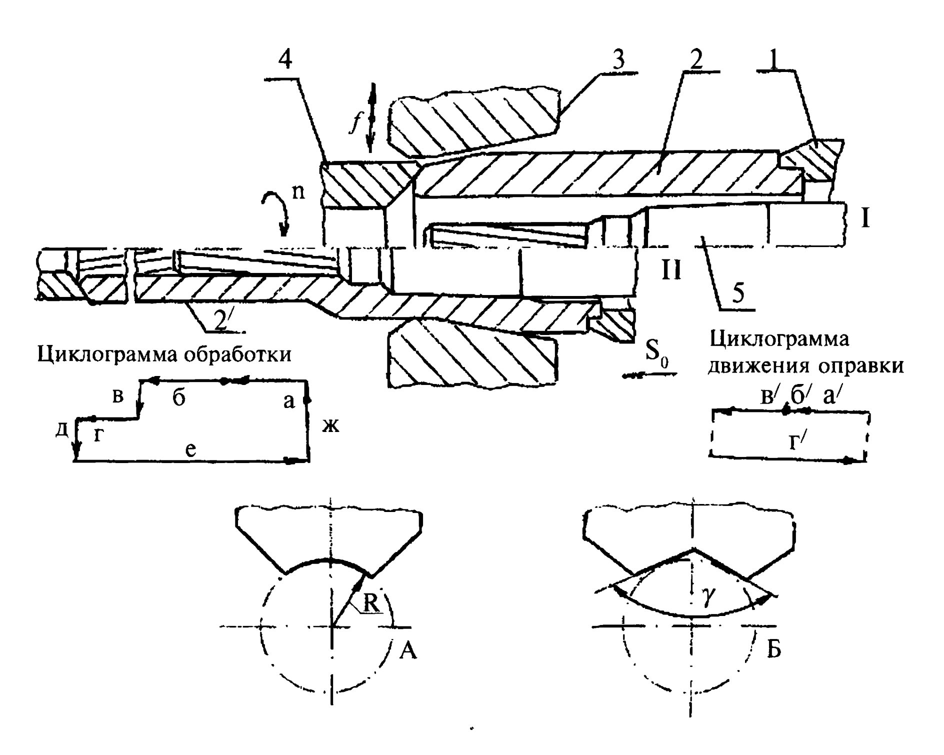


Рис. 19.1. Технологическая схема холодного радиального обжатия стволов: I - начало обработки, II - конец обработки; 1 - патрон поводковый, 2 - заготовка, 2/ - поковка, 3 - боек, 4 - контрфиксатор, 5 - оправка; а - быстрая подача заготовки в зону обработки, б - обработка направляющей части канала ствола, в - разведение бойков для обработки патронника, г - обработка патронника, д - разведение бойков, е - возвращение поковки в исходное положение, ж - сведение бойков; а/ - быстрая подача оправки в зону деформации, б/ - оправка в осевом направлении неподвижна при обработке направляющей части канала ствола, в/ - перемещение оправки при обработке патронника, г/ - возвращение оправки в исходное положение; А - радиусный боек, Б - ромбический боек

19.1. АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ РАДИАЛЬНОМ ОБЖАТИИ СТВОЛОВ

19.1.1. Обработка радиусными бойками

Рассмотрим процесс осесимметричного радиального обжатия радиусными бойками полой заготовки на оправке при наличии между ними первоначального зазора и двустороннего осевого подпора (рис. 19.2).

Для анализа воспользуемся цилиндрической системой координат rtz, ось z которой совпадает с осью заготовки, а начало (точка 0) - с началом зоны деформирования.

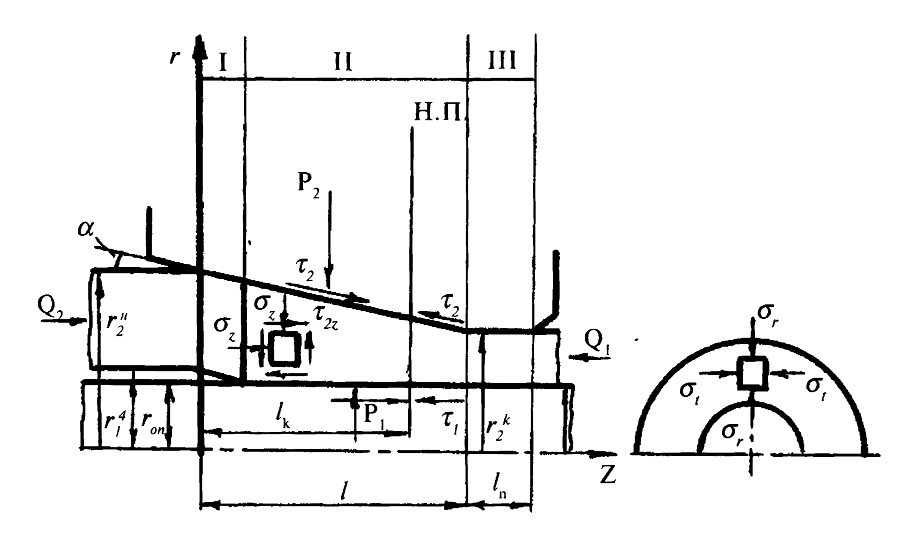


Рис. 19.2. Схема к расчету напряженно-деформированного состояния при радиальном обжатии радиусными бойками полой заготовки на оправке

Очаг деформации условно разделим на три зоны: I - зона обжима, II - зона утонения, III - зона калибровки.

Характерной особенностью рассматриваемого процесса является двустороннее течение металла от нейтральной плоскости (н.п.).

Примем, что касательные напряжения на контакте, вызванные трением, постоянны, причем со стороны бойка они равны $\tau_2=\mu_2\sigma_2$, а со стороны оправки $-\tau_1=\mu_1\sigma_т$.

Основные уравнения рассматриваемой ассиметричной задачи следующие.

Дифференциальное уравнение равновесия:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{\partial\sigma_r}{\partial r}+\frac{\partial\tau_{rz}}{\partial z}+\frac{\sigma_r-\sigma_t}{r}=0\,;\\ &\frac{\partial\tau_{rz}}{\partial r}+\frac{\tau_{rz}}{r}+\frac{\partial\sigma_z}{\partial z}=0\,.\end{aligned}\right\} \qquad (19.1)$$

Компоненты скорости деформации:

$$\dot\varepsilon_r=\frac{\partial u}{\partial r};\ \dot\varepsilon_t=\frac{u}{r};\ \dot\varepsilon_z=\frac{\partial\omega}{\partial z};\ \dot\gamma=\frac{\partial u}{\partial z}+\frac{\partial\omega}{\partial z}. \qquad (19.2)$$

Условие несжимаемости:

$$\dot{\varepsilon}_r + \dot{\varepsilon}_t + \dot{\varepsilon}_z = 0 \qquad (19.3)$$

или с учетом (19.2):

$$\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{u}{r} = -\varepsilon_z \, , \qquad (19.4)$$

где u и φ - радиальная и осевая компоненты вектора скорости течения металла.

Уравнения, связывающие компоненты напряжения и скорости деформации:

$$\left.\begin{aligned} \sigma_r - \sigma_{cp} &= \frac{2\sigma_i}{3\dot{\varepsilon}_i}\dot{\varepsilon}_r \, ; \\ \sigma_t - \sigma_{cp} &= \frac{2\sigma_i}{3\dot{\varepsilon}_i}\dot{\varepsilon}_t \, ; \\ \sigma_z - \sigma_{cp} &= \frac{2\sigma_i}{3\dot{\varepsilon}_i}\dot{\varepsilon}_z \, ; \\ \tau_{rz} &= \frac{1}{3}\frac{\sigma_i}{\dot{\varepsilon}_i}\dot{\gamma}_{rz} \, , \end{aligned}\right\} \qquad (19.5)$$

где $\sigma_{cp} = \dfrac{\sigma_r + \sigma_t + \sigma_z}{3}$.

Интенсивность напряжений:

$$\sigma_i = \sqrt{(\sigma_r - \sigma_t) + (\sigma_t - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_r)^2 + 6\tau_{rz}^2} \, . \qquad (19.6)$$

Интенсивность скоростей деформации:

$$\dot{\varepsilon}_i = \frac{\sqrt{2}}{3}\sqrt{(\dot{\varepsilon}_r - \dot{\varepsilon}_t) + (\dot{\varepsilon}_t - \dot{\varepsilon}_z)^2 + (\dot{\varepsilon}_z - \dot{\varepsilon}_r)^2 + \frac{3}{2}\dot{\gamma}_{rz}^2} \, . \qquad (19.7)$$

Примем, что осевая скорость деформации постоянна по толщине заготовки, т.е. не зависит от радиуса:

$$\dot{\varepsilon}_z = \dot{\varepsilon}_z(z). \qquad (19.8)$$

Далее примем, что касательные напряжения τ_{rz} не зависят от координаты z:

$$\tau_{rz} = \tau_{rz}(r). \qquad (19.9)$$

Игнорируя уравнение (19.4) с учетом (19.8), получим:

$$u = -\frac{1}{2}\dot{\varepsilon}_z r + \frac{c}{r} \, , \qquad (19.10)$$

где c - постоянная интегрирования.

Следует отметить, что "c" не зависит от радиуса "r", но зависит от координаты "z", т.е. $c = c(z)$.

Подставляя найденное значение "u" в зависимости (19.2), найдем:

$$\left.\begin{aligned}\dot{\varepsilon}_r &= -\frac{1}{2}\dot{\varepsilon}_z - \frac{c}{r^2};\\ \dot{\varepsilon}_t &= -\frac{1}{2}\dot{\varepsilon}_z + \frac{c}{r^2}.\end{aligned}\right\} \qquad (19.11)$$

Далее преобразуем выражение для интенсивности скоростей деформации (19.7). С этой целью воспользуемся последним выражением системы (19.5), записав его таким образом:

$$\dot{\gamma}_{rz} = \frac{\tau_{rz}}{\frac{1}{3}\frac{\sigma_t}{\varepsilon_t}} = \frac{\tau_{rz}}{\frac{1}{3}\sigma_t}\cdot\dot{\varepsilon}_t .$$

Из этого выражения с учетом (19.7) получим:

$$\dot{\gamma}_{rz}^2 = \varphi^2\frac{2}{9}\left[(\dot{\varepsilon}_r - \dot{\varepsilon}_t)^2 + (\dot{\varepsilon}_t - \dot{\varepsilon}_z)^2 + (\dot{\varepsilon}_z - \dot{\varepsilon}_r)^2 + \frac{3}{2}\dot{\gamma}_{rz}^2\right],$$

или

$$\dot{\gamma}_{rz}^2 = \frac{\frac{2}{9}\varphi^2\left[(\dot{\varepsilon}_r - \dot{\varepsilon}_t)^2 + (\dot{\varepsilon}_t - \dot{\varepsilon}_z)^2 + (\dot{\varepsilon}_z - \dot{\varepsilon}_r)^2\right]}{1 - \frac{2}{9}\varphi^2}, \qquad (19.12)$$

где $\varphi = \dfrac{\tau_{rz}}{\frac{1}{3}\sigma_t}$.

Выражение для интенсивности скоростей деформации с учетом (19.12) можно записать в виде:

$$\dot{\varepsilon}_t = m\frac{\sqrt{2}}{3}\sqrt{(\dot{\varepsilon}_r - \dot{\varepsilon}_t)^2 + (\dot{\varepsilon}_t - \dot{\varepsilon}_z)^2 + (\dot{\varepsilon}_z - \dot{\varepsilon}_r)^2}, \qquad (19.13)$$

где $m = \sqrt{1 + \dfrac{\frac{1}{3}\varphi^2}{1 - \frac{2}{9}\varphi^2}}$.

С учетом граничных условий для касательных напряжений:

при $r = r_2$ $\qquad \tau_{rz} = \tau_2 = \mu_2\sigma_t$,

при $r = r_1$ $\qquad \tau_{rz} = \tau_1 = \mu_1\sigma_t$

можно найти, что величина коэффициента "m" будет меняться в пределах $m_1 < m < m_2$,

где $m_1 = \sqrt{1 + \dfrac{\frac{1}{3}\mu_1^2}{1 + 2\mu_1^2}}$; $\qquad m_2 = \sqrt{1 + \dfrac{\frac{1}{3}\mu_2^2}{1 + 2\mu_2^2}}$;.

Следует отметить, что при холодном радиальном обжатии обычное значение $\mu_1 = 0{,}05$, а $\mu_2 = 0{,}15\text{-}0{,}20$. Подставив эти значения коэффициентов трения в формулы для "m_1" и "m_2", найдем:

$$1{,}004 < m < 1{,}007.$$

Из последнего неравенства следует, что "m" изменяется в очень небольших пределах и очень мало отличается от единицы. Поэтому в (19.13) можно принять, что:

$$m_{cp}=\frac{m_1+m_2}{2}=m. \qquad (19.14)$$

Введем в рассмотрение величину

$$\varepsilon_i^*=\frac{\dot{\varepsilon}_i}{m}. \qquad (19.15)$$

Тогда уравнения (19.5) примут вид:

$$\left.\begin{aligned} \sigma_r-\sigma_{cp}&=\frac{2}{3}\frac{\sigma_i}{\dot{\varepsilon}_i^*}\dot{\varepsilon}_r^*;\\ \sigma_t-\sigma_{cp}&=\frac{2}{3}\frac{\sigma_i}{\dot{\varepsilon}_i^*}\dot{\varepsilon}_t^*;\\ \sigma_z-\sigma_{cp}&=\frac{2}{3}\frac{\sigma_i}{\dot{\varepsilon}_i^*}\dot{\varepsilon}_z^*, \end{aligned}\right\} \qquad (19.16)$$

где $\dot{\varepsilon}_r^*=\frac{\dot{\varepsilon}_r}{m}$; $\dot{\varepsilon}_t^*=\frac{\dot{\varepsilon}_t}{m}$; $\dot{\varepsilon}_z^*=\frac{\dot{\varepsilon}_z}{m}$.

Таким образом, введение величины ε_z^* приводит к необходимости введения новых величин компонентов скоростей деформаций, измененных на постоянную величину "m".

В связи с этим условие несжимаемости примет вид:

$$\dot{\varepsilon}_r^*+\dot{\varepsilon}_t^*+\dot{\varepsilon}_z^*=0,$$

а выражение (19.10) запишется так:

$$u=-\frac{1}{2}\dot{\varepsilon}_z^*\cdot r+\frac{c}{r}, \qquad (19.17)$$

что приведет к изменению записи выражений (19.11):

$$\left.\begin{aligned} \dot{\varepsilon}_r^*&=-\frac{1}{2}\dot{\varepsilon}_z^*-\frac{c}{r^2};\\ \dot{\varepsilon}_t^*&=-\frac{1}{2}\dot{\varepsilon}_z^*+\frac{c}{r^2}; \end{aligned}\right\} \qquad (19.18)$$

Подставляя в (19.15) зависимости (19.13) и (19.18), найдем:

$$\dot{\varepsilon}_i^*=\frac{2}{\sqrt{3}}\sqrt{\frac{3}{4}\dot{\varepsilon}_z^*+\frac{c^2}{r^4}},$$

откуда

$$\frac{c}{r^2}=signc\frac{\sqrt{3}}{2}\sqrt{\dot{\varepsilon}_i^*-\dot{\varepsilon}_z^*}, \qquad (19.19)$$

где символ "*signc*" выражает знак постоянной "c".

Обозначим значение $\dot{\varepsilon}_i^*$ при $r=r_1$, через $\dot{\varepsilon}_{i_1}^*$, а при $r=r_2$ через $\dot{\varepsilon}_{i_2}^*$. Тогда из (19.19) следует, что:

$$\frac{4}{3}c^2 = r_1^4\left(\dot{\varepsilon}_{i_1}^{*2} - \dot{\varepsilon}_z^{*2}\right) = r_2^4\left(\dot{\varepsilon}_{i_2}^{*2} - \dot{\varepsilon}_z^{*2}\right) = r^4\left(\dot{\varepsilon}_i^{*2} - \dot{\varepsilon}_z^{*2}\right). \tag{19.20}$$

Распределений напряжений в заготовке в процессе обжатия найдем следующим образом.

Первое уравнение равновесия с учетом допущения (19.9) примет вид:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_t}{r} = 0 \tag{19.21}$$

или

$$\sigma_r = c_1 - \int \frac{\sigma_r - \sigma_t}{r} \partial r. \tag{19.22}$$

Из формулы (19.16) получим:

$$\left.\begin{aligned} \sigma_r - \sigma_t &= \frac{2\sigma_i}{3\dot{\varepsilon}_i^*}\left(\dot{\varepsilon}_r^* - \dot{\varepsilon}_t^*\right); \\ \sigma_z - \sigma_r &= \frac{2\sigma_i}{3\dot{\varepsilon}_i^*}\left(\dot{\varepsilon}_z^* - \dot{\varepsilon}_r^*\right). \end{aligned}\right\} \tag{19.23}$$

Подставляя выражения (19.18) и (19.19) в (19.23), преобразуем их к виду:

$$\sigma_r - \sigma_t = -signc \frac{2\sigma_i}{\sqrt{3}\dot{\varepsilon}_i^*}\sqrt{\dot{\varepsilon}_i^{*2} - \dot{\varepsilon}_z^{*2}}; \tag{19.24}$$

$$\sigma_z - \sigma_r = \frac{\sigma_i}{\dot{\varepsilon}_i^*}\left[\frac{signc}{\sqrt{3}}\sqrt{\dot{\varepsilon}_i^{*2} - \dot{\varepsilon}_z^{*2}} - \varepsilon_z^*\right]. \tag{19.25}$$

Дифференцируя (19.19), найдем:

$$-\frac{rcdr}{r^3} = signc \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{\dot{\varepsilon}_i^* d\dot{\varepsilon}_i^*}{\sqrt{\dot{\varepsilon}_i^{*2} - \dot{\varepsilon}_z^{*2}}}. \tag{19.26}$$

После упрощения получим:

$$\frac{dr}{r} = -\frac{1}{2} \frac{\dot{\varepsilon}_i^* d\dot{\varepsilon}_i^*}{\dot{\varepsilon}_i^{*2} - \dot{\varepsilon}_z^{*2}}. \tag{19.27}$$

Подставляя (19.24) и (19.27) в (19.22), будем иметь:

$$\sigma_r = c_1 - signc \frac{1}{\sqrt{3}} \int \frac{\sigma_i d\dot{\varepsilon}_i^*}{\sqrt{\dot{\varepsilon}_i^{*2} - \dot{\varepsilon}_z^{*2}}}. \tag{19.28}$$

Для определения постоянных интегрирования необходимо задать еще граничные условия. Для рассматриваемой задачи они имеют вид:

при $r = r_2$

$$\begin{aligned} &\tau_{rz}\sin\beta + \sigma_r\cos\beta = -\tau_2\sin\beta + P_2\cos\beta; \\ &\sigma_z\sin\beta + \tau_{rz}\cos\beta = P_2\sin\beta - \tau_2\cos\beta; \end{aligned} \tag{19.29}$$

при $r = r_1$

$$\sigma_r = P_1;\ \tau_{rz} = \tau_1 \tag{19.30}$$

Граничные условия (19.29) можно упростить вследствие независимости контактного касательного напряжения τ_2 от нормального давления P_2. С учетом этого оси могут быть записаны в виде:

$$\text{при } r=r_2;\ \sigma_r=P_2;\ \tau_{rz}=\tau_2. \qquad (19.31)$$

Используя граничные условия (19.30) и (19.31), из (19.28) найдем:

$$P_1-P_2=signc\frac{1}{\sqrt{3}}\int_{\dot\varepsilon_{i2}}^{\dot\varepsilon_{i1}}\frac{\sigma_i d\dot\varepsilon_i^*}{\sqrt{\dot\varepsilon_i^{*2}-\dot\varepsilon_z^{*2}}};$$

$$P_1-P_2=signc\frac{1}{\sqrt{3}}\int_{\dot\varepsilon_{i2}}^{\dot\varepsilon_{i1}}\frac{\sigma_i d\dot\varepsilon_i^*}{\sqrt{\dot\varepsilon_i^{*2}-\dot\varepsilon_z^{*2}}}; \qquad (19.32)$$

Из (19.32) видно, что знак постоянной "c" совпадает со знаком разности P_1-P_2:

$$signc = sign(P_1 - P_2). \qquad (19.33)$$

Запишем выражение продольной силы через осевое напряжение:

$$N=2\pi\int_{r_1}^{r_2}\sigma_z r\,dr. \qquad (19.34)$$

Из (19.20) следует:

$$r^2=r_1^2\sqrt{\frac{\dot\varepsilon_{i1}^{*2}-\dot\varepsilon_z^{*2}}{\dot\varepsilon_i^{*2}-\dot\varepsilon_z^{*2}}}.$$

Дифференцируя это выражение, найдем:

$$r\,dr=-\frac{r_1^2}{r}\frac{\sqrt{\dot\varepsilon_{i1}^{*2}-\dot\varepsilon_z^{*2}}}{\left(\dot\varepsilon_i^{*2}-\dot\varepsilon_z^{*2}\right)^{3/2}}\,\dot\varepsilon_i^* d\dot\varepsilon_i^*. \qquad (19.35)$$

С учетом формул (19.25), (19.32) и (19.35) приведем выражение (19.34) к виду:

$$\frac{N-\pi\left(P_1 r_1^2-P_2 r_2^2\right)}{\pi r_1 r}=\dot\varepsilon_z^*\sqrt{\dot\varepsilon_{i1}^{*2}-\dot\varepsilon_z^{*2}}\int_{\dot\varepsilon_{i2}}^{\dot\varepsilon_{i1}}\frac{\sigma_i d\dot\varepsilon_i^*}{\left(\dot\varepsilon_i^{*2}-\dot\varepsilon_z^{*2}\right)^{3/2}}. \qquad (19.36)$$

Величина продольной силы "N", входящая в уравнение (19.36), может быть найдена из второго уравнения равновесия (19.1), которое в интегральном виде для сечения, расположенного слева от интегральной плоскости (за исключением зоны обжима), с учетом сил подпора имеет вид:

$$N_1=2\pi r_1(z-l_{об})\tau_1+\pi\left[r_2''+(r_2''-z\,tg\beta)\right]z(\tau_2-P_{2ср}tg\beta)+Q_2, \qquad (19.37)$$

для зоны обжима:

$$N'_{об}=\pi\left[r_2''+(r_2''-z\,tg\beta)\right]z(\tau_2-P_{2ср}tg\beta)+Q_2, \qquad (19.38)$$

где $P_{2ср}$ - среднее контактное давление на боек.

Для сечения, расположенного справа от нейтральной плоскости:

$$N_2=2\pi r_1 (l-z)\tau_1+\pi\{r_2^к+[r_2^к+(l-z)tg\beta]\}(l-z)(\tau_2-P_{2ср}tg\beta)+Q_1. \qquad (19.39)$$

Полученные формулы дают решение задачи при произвольной зависимости между интенсивностью напряжений и интенсивностью деформаций.

При известной зависимости $\sigma_i = f(\dot{\varepsilon}_i)$ и скорости деформирования "u" по формулам (19.17), (19.20), (19.32), (19.36), (19.37), (19.38) и (19.39) определяются величины $\dot{\varepsilon}^*_{i_1}$, $\dot{\varepsilon}^*_i$, $\dot{\varepsilon}^*_z$, N, P_1, P_2, а по ним σ_r, σ_t, σ_z. При этом положение нейтрального сечения находится из условия:

$$N_1(z = z_н) = N_2(z = z_н) \qquad (19.40)$$

При произвольной (несхематизированной) диаграмме деформирования расчет напряженно-деформированного состояния является достаточно сложным и может быть реализован с привлечением электронно-вычислительной техники.

19.1.2. Обработка ромбическими бойками (метод плоских сечений)

Для инженерных расчетов при определения усилия формоизменения, при анализе условий заполнения профиля канала ствола, налипания металла на инструмент и т.д., более удобным является метод плоских сечений, который позволяет получить более простые выражения, но вместе с тем обеспечивает достаточную для практики точность.

В связи с этим, используя метод плоских сечений, найдем распределение напряжений в зонах обжима, утонения и калибровки при радиальном обжатии заготовки на оправке ромбическими бойками (плоская деформация) при наличии переднего и заднего подпоров. Схема к расчету напряженно-деформированного состояния при обжатии полой заготовки ромбическими бойками (метод плоских сечений) представлена на рис. 19.3.

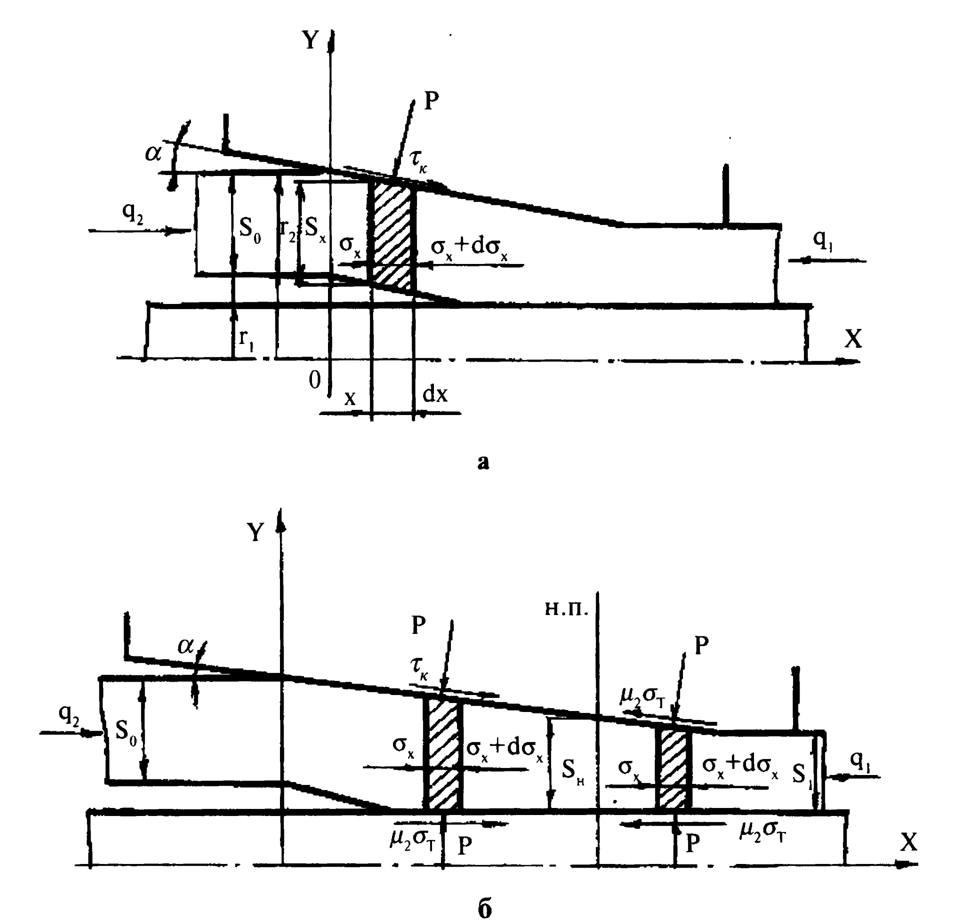


Рис. 19.3. Схема к расчету напряженно-деформированного состояния при обжатии полой заготовки ромбическими бойками (метод плоских сечений): а - схема к расчету зоны обжима, б - схема к расчету зон утонения и калибровки

1. Зона обжима

Проектируя все силы на ось "X", получим следующее дифференциальное уравнение равновесия:

$$\frac{dP}{dx} = -P\,\frac{(tg\,\alpha-\mu)}{S_0}\,. \qquad (19.41)$$

Граничные условия для касательных напряжений приняты в виде:

$$\tau_к = \tau_2 = \mu P_1 \qquad (19.42)$$

условие пластичности

$$P - \sigma_x = \sigma_T . \qquad (19.43)$$

После интегрирования с учетом граничных условий для σ_x найдем:

$$P=(\sigma_T+q_2)e^{-\frac{tg\alpha-\mu}{S_0}x}; \qquad (19.44)$$

$$\sigma_x=(\sigma_T+q_2)e^{\frac{\mu-tg\alpha}{S_0}x}-\sigma_T . \qquad (19.45)$$

2. Зона утонения

Проектируя все силы на ось “X”, получим:

$$\frac{d\sigma_x}{dx}=\frac{tg\,\alpha\pm\mu}{S}\sigma_T, \qquad (19.46)$$

где “плюс” относится к сечению, расположенному справа от нейтральной плоскости, а “минус” - слева;

$$\mu=\mu_1+\mu_2$$

Граничные условия для касательных напряжений приняты в виде:

$$\tau_1=\mu_1\sigma_T;\ \tau_2=\mu_2\sigma_T . \qquad (19.47)$$

Условие пластичности:

$$(P-\sigma_x)^2+4\tau_{xy}^2=\sigma_T^2 \qquad (19.48)$$

с учетом (19.47) примет вид

$$P-\sigma_x=\sigma_T\sqrt{1-4\mu^2}=\sigma_T^* . \qquad (19.49)$$

После интегрирования с учетом граничных условий для сечения, расположенного слева от нейтральной оси, найдем:

$$\sigma_x=\frac{\mu-\overline{tg\,\alpha}}{tg\,\alpha}\ln\frac{S_0}{S_x}\sigma_T+q_2; \qquad (19.50)$$

$$P=\frac{\mu-\overline{tg\,\alpha}}{tg\,\alpha}\ln\frac{S_0}{S_x}\sigma_T+q_2+\sigma_T^*; \qquad (19.51)$$

для сечения, расположенного справа, получим

$$\sigma_x=\frac{\mu+\overline{tg\,\alpha}}{tg\,\alpha}\ln\frac{S_x}{S}\sigma_T+q_1^*; \qquad (19.52)$$

$$P=\frac{\mu+\overline{tg\,\alpha}}{tg\,\alpha}\ln\frac{S_x}{S}\sigma_T+q_1^*+\sigma_T^*, \qquad (19.53)$$

где $\sigma_T^*=\sigma_T\sqrt{1-4\mu^2}$; $\overline{tg\,\alpha}=\sqrt{1-4\mu^2}\,tg\,\alpha$;

q_1^* - значение осевого напряжения с учетом зоны калибровки.

Из уравнения (19.46) следует, что при отсутствии подпора “q_2” процесс возможен только в том случае, если

$$\mu \ge tg\alpha . \qquad (19.54)$$

При меньшем же значении коэффициента трения заготовка будет выталкиваться из бойков и процесс нельзя будет осуществить.

Положение нейтральной плоскости найдем, приравняв "σ_x" по формулам (19.50) и (19.52) при $S_x=S_н$:

$$\frac{\mu-tg\alpha}{tg\alpha}\ln\frac{S_0}{S}\sigma_T+q_2=\frac{\mu+tg\alpha}{tg\alpha}\ln\frac{S_H}{S_0}\sigma_T+q_1. \qquad (19.55)$$

Откуда

$$\frac{S_H}{S_0}=\exp\left[\frac{q_2-q_1^{*}+\frac{\mu+tg\alpha}{tg\alpha}\sigma_T\ln\frac{S_0}{S}}{\left(\frac{\mu-tg\alpha}{tg\alpha}+\frac{\mu+tg\alpha}{tg\alpha}\right)\sigma_T}\right]. \qquad (19.56)$$

При величине подпора "q_1":

$$q_1=\frac{\mu-tg\alpha}{tg\alpha}\ln\frac{S_0}{S}\sigma_T+q_2, \qquad (19.57)$$

нейтральная плоскость будет проходить через сечение $S_н=S_1$. При этом в зоне утонения будет иметь место одностороннее течение влево от нейтрального сечения, проходящего через конец зоны утонения, а контактное давление на инструмент будет минимальным при условии:

$$tg\alpha=\frac{\mu\ln\frac{S_0}{S}}{\frac{q_1}{\sigma_T}-\frac{q_2}{\sigma_T}+\sqrt{1-4\mu^2\ln\frac{S_0}{S}}}. \qquad (19.58)$$

Среднее контактное давление может быть найдено из выражения

$$P_{ср}=\frac{\int_{S_1}^{S_0}PdS}{S_0-S_1}. \qquad (19.59)$$

Для зоны утонения в рассматриваемом случае оно будет равно:

$$P_{ср}^{/}=\frac{\mu-tg\alpha}{tg\alpha\varepsilon}\left[\varepsilon+(1-\varepsilon)\ln(1-\varepsilon)\right]\sigma_T+q_2+\dot{\sigma_T}, \qquad (19.60)$$

где $\varepsilon=\frac{S_0-S_1}{S_0}$

Следует отметить, что вследствие малости коэффициента трения при холодном радиальном обжатии (обычное значение коэффициента трения по бойку - μ_1=0,15, по оправке - μ_2=0,05 влияние касательного напряжения на переход в пластическое состояние невелико.

Поэтому при расчетах можно использовать приближенное условие пластичности в виде:

$$P_п-\sigma_x=\sigma_T.$$

<u>3. Зона калибровки</u>

Проектируя все силы на ось "X", найдем:

$$\frac{d\sigma_x}{dx}=\frac{2\mu\sigma_T}{S}. \qquad (19.61)$$

Интегрируя с учетом граничного условия для σ_x найдем:

$$\sigma_x=\frac{2\mu x}{S}\sigma_T+q_1;$$

$$P=\frac{2\mu x}{S}\sigma_T+q_1+\sigma_T^{*}. \qquad (19.62)$$

При x=ln,

$$\sigma_x=q_1^{*}=\frac{2\mu \ln}{S}\sigma_T+q_1. \qquad (19.63)$$

Среднее контактное давление в зоне калибровки равно

$$P_{ср}^{//}=\frac{\mu \ln}{S}\sigma_T+q_1+\sigma_T^{*}. \qquad (19.64)$$

19.1.3. Усилие формоизменения, потребляемая мощность

Для выбора машины под радиальное обжатие необходимо знать усилие, приходящееся на боек, и потребляемую мощность.

Усилие, приходящееся на радиусный боек, может быть найдено следующим образом:

$$P=\frac{1}{4}\pi\left(r_2^{н}+r_2^{к}\right)\frac{l}{\cos\beta}P_{ср}^{/}+\frac{1}{2}\pi r_2^{к}\ln P_{ср}^{//}, \qquad (19.65)$$

где $P_{ср}^{/}$ - среднее значение "P_2" в зоне обжима и утонения;
$P_{ср}^{//}$ - среднее значение "P_2" в зоне калибровки.

Следует отметить, что получить в явном виде формулу для определения "$P_{ср}$" в случае применения радиусных бойков нельзя. Поэтому определить усилие в этом случае можно только используя ЭВМ.

Усилие, приходящееся на ромбический боек, может быть вычислено по формуле:

$$P=P_{ср}^{/}F_{к}^{/}+P_{ср}^{//}F_{к}^{//} \qquad (19.66)$$

где $F_{к}^{/}$ - площадь контакта в зоне утонения;
$F_{к}^{//}$ - площадь контакта в зоне калибровки;

$$F_к=6R\sqrt{1-\left(1-\frac{S_n\, tg\alpha\cos\gamma^{*}}{r_2^{к}}\right)^2}\cdot l_2;$$

$P_{ср}^{/}$ - среднее контактное давление в зоне утонения (формула 19.60);
$P_{ср}^{//}$ - среднее контактное давление в зоне калибровки (формула 19.64).

После определения общего усилия можно найти эффективную мощность обжатия для четырехбойковой машины:

$$N_э=\frac{4\,PU_{ср}}{102},\qquad(19.67)$$

где $U_{ср}$ - средняя скорость деформирования.

Средняя скорость деформирования определяется из выражения:

$$U_{ср}=\pi\sqrt{2eV_n n tg\alpha},\qquad(19.68)$$

где e - величина хода бойка;

$V_п$ - скорость подачи;

n - количество ударов бойка в единицу времени.

19.1.4. Напряженно-деформированное состояние бойка при радиальном обжатии ромбическими бойками лейнированных (би- и полиметаллических) заготовок

Для разработки эффективной технологии, обеспечивающей получение высококачественных биметаллических стволов, необходимо изучить напряженно-деформированное состояние двухслойной заготовки при радиальном обжатии. С этой целью рассмотрим совместное пластическое деформирование двухслойной заготовки в условиях плоской деформации. Для анализа воспользуемся методом плоских сечений (рис. 19.4).

В общем случае в процессе деформирования будет иметь место двухстороннее течение металла от нейтральной плоскости, положение которой определяется координатой "$l_{н.п.}$".

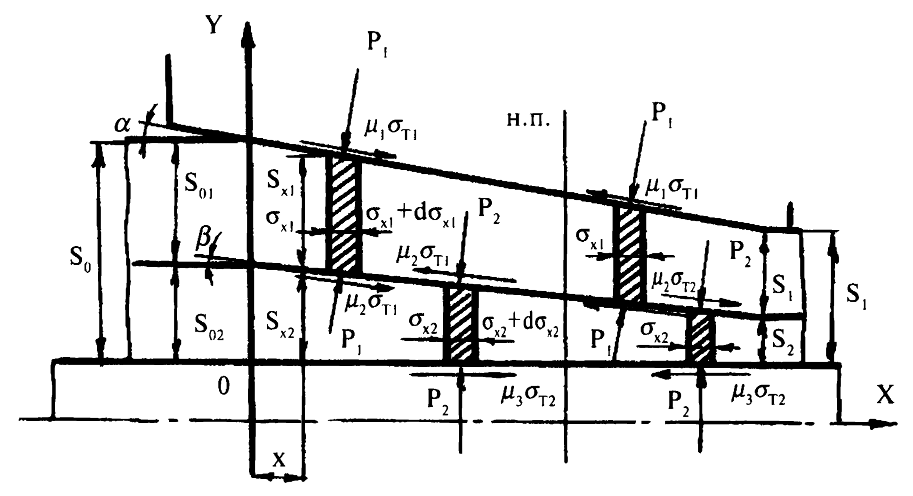


Рис. 19.4. Схема к расчету напряженно-деформированного состояния двухслойной заготовки

Дифференциальное уравнение равновесия для первого слоя имеет вид:

$$\frac{d\sigma_{x_1}}{dx}=\frac{S'_{x_1}\pm\bar{\mu}_1}{S_{x_1}}\sigma_{T_1}, \qquad (19.69)$$

где $S'_{x_1}=\frac{dS_x}{dx}$;

$\bar{\mu}_1=\mu_1+\mu_2$

μ_1 - коэффициент трения по бойку;

μ_2 - коэффициент трения между слоями;

σ_{T_1} - предел текучести материала оболочки.

"Минус" относится к металлу, текущему влево от нейтральной плоскости, "плюс" - вправо.

Дифференциальное уравнение равновесия для второго слоя запишется в виде:

$$\frac{d\sigma_{x_2}}{dx}=\frac{S'_{x_2}\pm\mu_2}{S_{x_2}}\sigma_{T_2}, \qquad (19.70)$$

где $S'_{x_2}=\frac{dS_{x_2}}{dx}$;

$\bar{\mu}_2=\mu_2\frac{\sigma_{S_1}}{\sigma_{S_2}}-\mu_3$,

μ_3 - коэффициент трения на оправке;

σ_{T_2} - предел текучести материала лейнера (внутреннего слоя).

Знак "плюс" относится к металлу, текущему влево от нейтральной плоскости, "минус" - вправо.

Соотношение между текущими значениями толщин слоев и общей толщиной биметаллического изделия можно записать в виде:

$$S_x=S_{x_1}+S_{x_2} \qquad (19.71)$$

Уравнения (19.69) и (19.70) могут быть решены после определения формы границы между слоями, т.е. вида функции "S_{x_2}".

Вид функции "S_{x_2}" найдем из условия равенства межслойных давлений.

Используя условие пластичности для слоев, найдем:

$P_{n_1}=\sigma_{x_1}+\sigma_{T_1}$.

$P_{n_2}=\sigma_{x_2}+\sigma_{T_2}$.

Откуда получим

$P_{n_1}=P_{n_2}=\sigma_{x_1}+\sigma_{T_1}=\sigma_{x_2}+\sigma_{T_2}$.

Дифференцируя будем иметь:

$$\frac{d\sigma_{x_1}}{dx}=\frac{d\sigma_{x_2}}{dx}. \qquad (19.72)$$

После подстановки значений производных из (19.69) и (19.70) в выражение (19.72) и соответствующих преобразований получим:

$$S'_{x_2}=\frac{(tg\alpha-\bar{\mu})S_{x_2}-\frac{\sigma_{T_2}}{\sigma_{T_1}}\mu_2(S_x-S_{x_2})}{\frac{\sigma_{T_2}}{\sigma_{T_1}}(S_x-S_{x_2})+S_{x_2}}. \qquad (19.73)$$

Дифференциальное уравнение (19.73) описывает форму границы между слоями в очаге деформации.

Значения $\frac{S_{x_2}}{S_1}$, подсчитанные для различных соотношений $\frac{\sigma_{T_2}}{\sigma_{T_1}}$ при $\mu_1=0{,}12$, $\mu_2=0$, $\mu_3=0{,}05$, $\alpha=6°$ находятся в пределах от 1,0 до 1,4.

Коэффициент межслойного трения в зоне совместной пластической деформации:

$$\mu_2=-\frac{\mu_1-\frac{S_1/S_2\,tg\alpha}{1+S_1/S_2}+\left(\mu_3\,S_1/S_2+\frac{S_1/S_2\,tg\,\alpha}{1+S_1/S_2}\right)\cdot\frac{\sigma_{T_2}}{\sigma_{T_1}}}{1+S_1/S_2}. \qquad (19.74)$$

Для металла, текущего вправо от нейтральной плоскости, выражения для определения давлений примут вид:

$$P_{n_1}=\frac{\bar{\mu}_1+(tg\alpha-tg\beta)}{tg\alpha-tg\beta}\ln\frac{S_{x_1}}{S_1}\sigma_{T_1}+q_1+\sigma_{T_1}; \qquad (19.75)$$

$$P_{n_2}=\frac{\bar{\mu}_2+tg\beta}{tg\beta}\ln\frac{S_{x_2}}{S_2}\sigma_{T_2}+\sigma_{T_2}, \qquad (19.76)$$

где $tg\beta=\frac{tg\alpha}{1+\frac{S_1}{S_2}}$.

Граница раздела между слоями может быть принята прямолинейной, пластическая деформация внутреннего (более прочного) слоя начинается на некотором расстоянии от входа в очаг деформации, а до этого сечения внутренний слой находится в упругом состоянии. Положение сечения, в котором начинается пластическая деформация более прочного слоя, зависит от соотношения пределов текучести наружного и внутреннего слоев, геометрии инструмента, коэффициентов трения, толщины слоев, величины подпора. Полученные выражения могут быть использованы для расчета энергосиловых параметров процесса и послойных деформаций, необходимых для определения размеров исходных заготовок.

19.2. ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ КОНСТРУКЦИЙ СТВОЛОВ

Технологичность или практическая возможность и технико-экономическая целесообразность изготовления стволов холодным или горячим радиальным обжатием зависит от совокупности ряда факторов, к числу которых относятся: конфигурация наружной и внутренней поверхности ствола, форма нарезов, заданные показатели качества (шероховатость, точность диаметральных размеров канала ствола, непрямолинейность, разностенность, механические свойства и т.д.).

Трудоемкость изготовления, коэффициент использования металла (КИМ) существенно зависят от геометрии наружной поверхности ствола. Классификация стволов по форме наружной поверхности приведена в табл. 19.1.

Таблица 19.1.

Классификация стволов по геометрии наружной поверхности

Группа	Характеристика формы	Схемы ствола
1	Цилиндрическая с обработанными одним или двумя посадочными местами	
2	Цилиндрическая ступенчатая с небольшими перепадами по ступеням (до 5мм)	
3	Цилиндро-коническая с обработкой только цилиндрических посадочных мест	
4	Цилиндрическая ступенчатая и цилиндро-коническая с большими перепадами по ступеням	

Наиболее технологичными по этой классификации являются стволы 1 и 2 групп, так как после радиального обжатия у них обрабатываются только посадочные места при минимальных припусках (финишные операции). Менее технологичными являются стволы 3 группы, поскольку из условия обеспечения заданного качества

канала ствола получать ступеньки на наружной поверхности при радиальном обжатии не целесообразно. Поэтому форма поковки должна быть конической, цилиндрической или цилиндро-конической. При этом, естественно, увеличивается припуск под последующую механическую обработку, соответствующим образом вырастает трудоемкость и уменьшается КИМ. И наибольший объем механической обработки в связи с этим имеет место у деталей 4 группы. Данные о влиянии геометрии наружной поверхности на КИМ приведены в табл. 19.2.

Таблица 19.2.

Влияние геометрии наружной поверхности ствола на КИМ

Наименование изделия	Группа	Схема ствола	Схема поковки	КИМ
ИЖ-22	1			0,91
2А42	2			0,40
9А-624	3			0,29
ТКБ-645	4			0,23

Форма нарезов в настоящее время является основным фактором, определяющим возможность получения ствола с применением радиального обжатия. При существующей кинематике радиально-обжимных машин радиальным обжатием можно получать стволы только с постоянным шагом нарезов. Существенное влияние на технологичность оказывает также перепад диаметров между патронником и каналом ствола, так как большой зазор между оправкой и заготовкой (который определяется перепадом диаметров) не

позволяет получать высокое качество канала ствола из-за складкообразования в процессе формоизменения. В связи с этим поковки стволов с большим перепадом (более 2,5 мм) получают без патронника.

Показатели качества должны устанавливаться исходя из возможностей радиального обжатия. Установлено, что показатели качества заготовок стволов, полученных холодным радиальным обжатием, находятся на следующих уровнях: точность размеров канала ствола 8-9 квалитеты, наружных поверхностей 10-11 квалитеты по ГОСТ 25347-82, шероховатость поверхности канала ствола R_a=0,16-0,32 мкм по ГОСТ 2789-73.

19.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПОКОВКИ

Чертеж поковки составляется по чертежу готовой детали с учетом припусков, допусков и технологических напусков (рис. 19.5).

Припуски и допуски назначаются на номинальные размеры, указанные в чертеже ствола. Их величина определяется по ОСТ 3-14.320-82.

Технологические напуски назначаются в том случае, когда конфигурация наружной поверхности детали не может быть получена холодным радиальным обжатием. В частности, как было указано выше, из условия обеспечения качества канала ствола на наружной поверхности не допускаются ступеньки. Исходя из этого, форма наружной поверхности поковки может быть только цилиндрической, конической или цилиндро-конической.

Оформление чертежа поковки производится в соответствии с требованиями ЕСКД. Внутри контура поковки указывается контур ствола.

19.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМЫ И РАЗМЕРОВ ЗАГОТОВКИ И СПОСОБА ЕЕ ПОЛУЧЕНИЯ

19.4.1. Расчет размеров заготовки моноблочных (монометаллических) стволов

Форма и размеры заготовки определяются по форме и размерам поковки, исходя из условия постоянства объема, с учетом степени деформации, которая должна быть одинаковой по всей длине ствола:

$$V_{заг} = V_п , \tag{19.77}$$

где $V_{заг}$ - объем заготовки, мм^3;

$V_п$ - объем поковки, мм^3.

Рис. 19.5. Чертеж поковки

Объем заготовки складывается из объема ее деформируемой части и объемов заходной и поводковой частей (технологических частей), указанных на рис. 19.6.

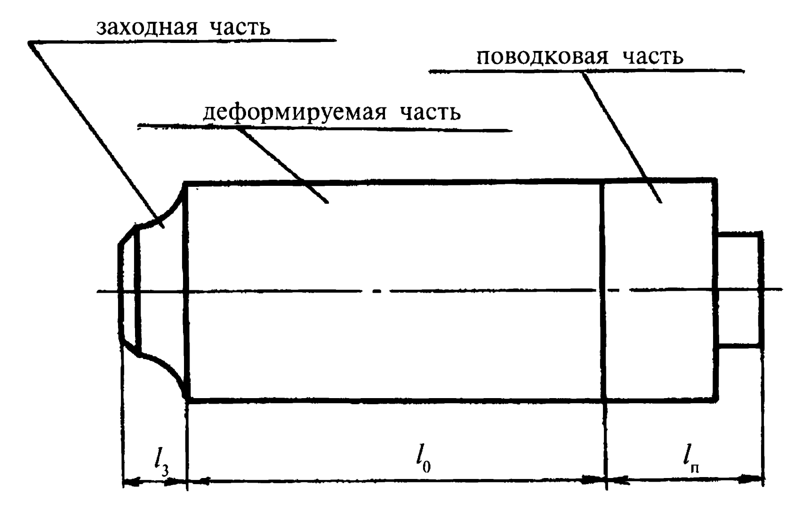


Рис. 19.6. Схема к расчету размеров заготовки

Наружный диаметр деформируемой части цилиндрической заготовки (рис. 19.7) определяется по формуле:

$$D_0 = \frac{D-d}{1-\varepsilon} + d_0, \tag{19.78}$$

где D - наружный диаметр поковки, мм;

d - диаметр отверстия в поковке, мм;

d_0 - диаметр отверстия в заготовке, мм;

ε - степень деформации.

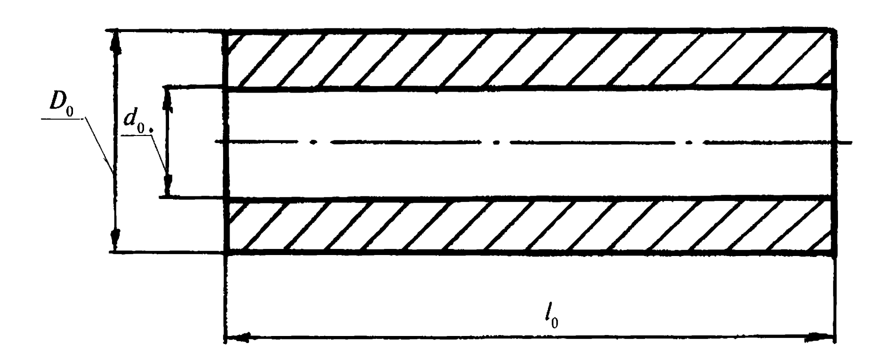


Рис. 19.7. Схема к расчету размеров цилиндрической полой заготовки

Диаметр отверстия в заготовке определяется по формуле:

$$d_0 = d_{max} + 2\delta, \qquad (19.79)$$

где d_{max} - максимальный диаметр оправки, мм;

δ - минимальный зазор между оправкой и заготовкой, мм.

Минимальная величина зазора, обеспечивающая свободное прохождение оправки, должна быть не менее 0,15 мм на сторону.

Длина деформируемой части цилиндрической заготовки определяется по формуле:

$$l_0 = \frac{D^2 - d^2}{D_0^2 - d_0^2} \cdot l, \qquad (19.80)$$

где l - длина поковки, равная длине детали плюс припуск на прорезку торцов, мм.

Наружные размеры деформируемой части конической заготовки (рис. 19.8) определяются по формулам:

$$D_{0_{max}} = \frac{D_{max} - d}{1 - \varepsilon} + d_0;$$

$$D_{0_{min}} = \frac{D_{min} - d}{1 - \varepsilon} + d_0, \qquad (19.81)$$

где $D_{0_{max}}$, $D_{0_{min}}$ - максимальный и минимальный наружные диаметры деформируемой части заготовки, мм;

D_{max}, D_{min} - максимальный и минимальный наружные диаметры поковки, мм;

d - диаметр отверстия в поковке, мм;

d_0 - диаметр отверстия в заготовке (определяется по формуле (19.79)), мм

ε - степень деформации.

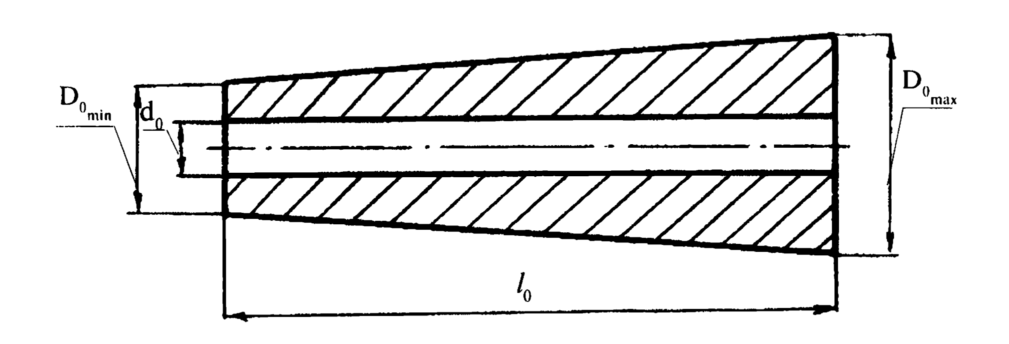


Рис. 19.8. Схема к расчету размеров конической заготовки

Длина деформируемой части конической заготовки определяется по формуле:

$$l_0 = \frac{\frac{1}{3}\left(D^2_{max} + D^2_{min} + D_{max} \cdot D_{min}\right) - d^2}{\frac{1}{3}\left(D^2_{0max} + D^2_{0min} + D_{0max} \cdot D_{0min}\right) - d_0^2} \cdot l, \qquad (19.82)$$

где l - длина поковки, равная длине детали плюс припуск на подрезку торцов, мм.

В случае поковки цилиндро-конической формы (рис. 19.9) размеры заготовки определяются отдельно для цилиндрического и конического участков по формулам (19.78 - 19.82).

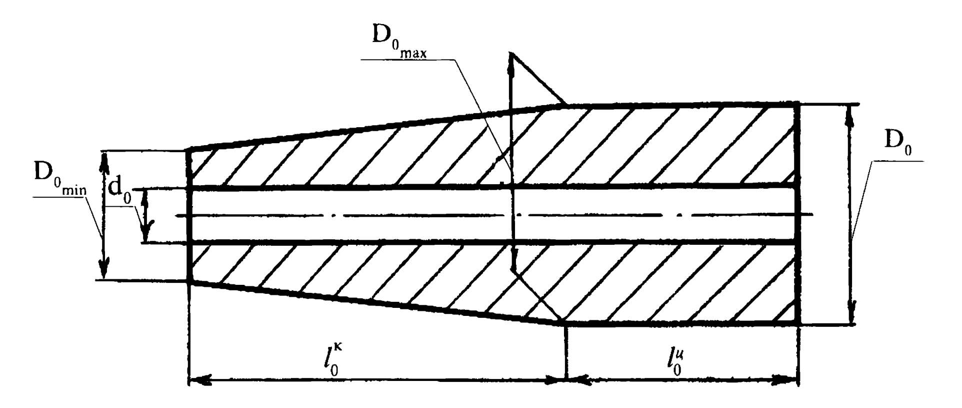


Рис. 19.9. Схема к расчету размеров цилиндро-конической заготовки

Форма заходной части заготовки при толщине стенки $S_0 \geq 6$ мм приведена на рис. 19.10, а при $S_0 < 6$ мм и $R \leq \Delta\left(\Delta = \frac{D_0 - D}{2}\right)$ - на рис. 19.11.

Размеры заходной части определяются по формулам и соотношениям:

при $D_0 \leq 50$ мм

$$R = \frac{\Delta}{2}\left[1 + \left(7{,}7\frac{S_0}{D_0} - 1{,}4\right)\right] \text{мм}; \qquad (19.83)$$

при $D_0 > 50$ мм

$$R = \frac{\Delta}{2}\left[1 + \left(9{,}5\frac{S_0}{D_0} - 0{,}9\right)\right] \text{мм}; \qquad (19.84)$$

при $d_0 > 10$ мм $\quad l_1 = 1{,}5$ мм;
при $d_0 < 10$ мм $\quad l_1 = 0{,}5$ мм.

$S_0 > 6$мм $R \leq \Delta$

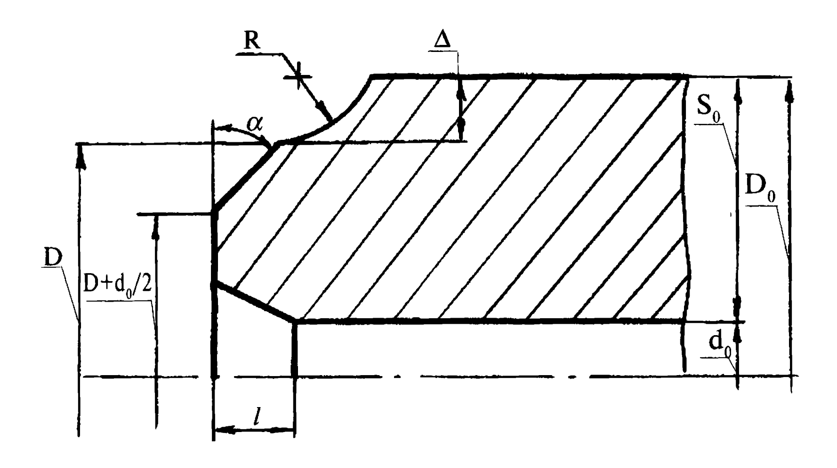


Рис. 19.10. Форма заходной части заготовки при толщине стенки $S_0 > 6$мм ($R \leq \Delta$)

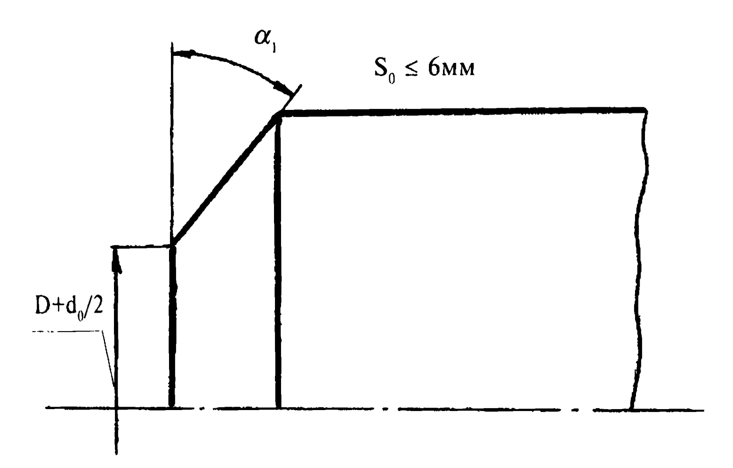


Рис. 19.11. Форма заходной части заготовки при толщине стенки $S_0 \leq 6$мм

Форма поводковой части при $S_0 > 6$ мм приведена на рис. 19.12 а при $S_0 < 6$ мм - на рис. 19.13.

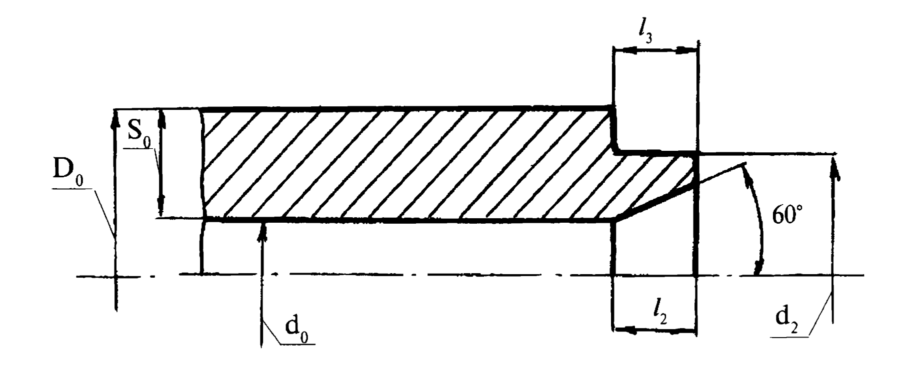


Рис. 19.12. Форма поводковой части заготовки при толщине стенки $S_0 > 6$ мм

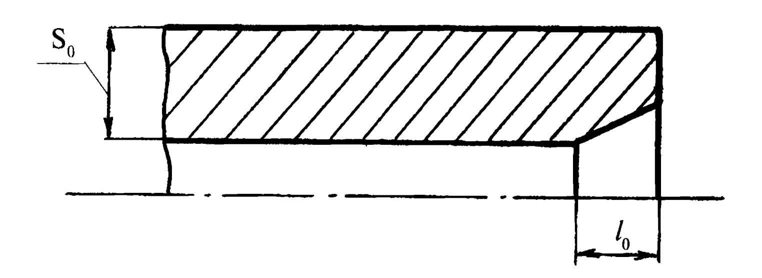


Рис. 19.13. Форма поводковой части заготовки при толщине стенки $S_0 \leq 6$ мм

Размеры поводковой части при $S_0 > 6$ мм выбираются из соотношений:

$$d_2 = d_0 + 1{,}2 l_2 + 4{,}0 \text{ , мм} \quad (19.85)$$

при $D_0 > 50$ мм $\quad l_3 = 10$ мм;
при $D_0 \leq 50$ мм $\quad l_3 = 5$ мм;
при $d_0 > 10$ мм $\quad l_2 = 3$ мм;
при $d_0 < 10$ мм $\quad l_2 = 0{,}5$ мм;
при $S \leq 6$ мм $\quad l_2 = l_1 = 0{,}5$ мм.

Длина заготовки определяется по формуле:

$$l_{заг} = l_0 + l_3 + l_п , \quad (19.86)$$

где l_0 - длина деформируемой части заготовки, мм;
l_3 - длина заходной части, мм;
l_n - длина поводковой части, мм.

Длина заходной части определяется по формуле:

$$l_3 = 1{,}41\ \Delta + l_1 . \qquad (19.87)$$

Длина поводковой части определяется по формуле:

$$l_n = l_{n_1} + l_{n_2} + l_{n_3} + l_{n_4} + l_3 , \qquad (19.88)$$

где l_{n_2}, l_{n_3}, l_{n_4} - размеры соответствующих участков заходной части бойка (рис. 19.14).

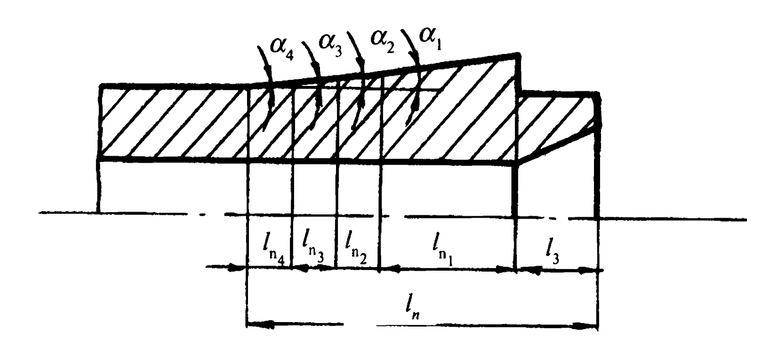


Рис. 19.14. Схема к расчету длины поводковой части

Величина l_{n_1} для цилиндрической заготовки определяется по формуле:

$$l_{n_1} = \frac{D_0\varepsilon + d_0(1-\varepsilon) - d}{2\,tg\,\alpha_1}; \qquad (19.89)$$

для конической заготовки:

$$l_{n_1} = \frac{D_{0_{max}} \cdot \varepsilon + d_0(1-\varepsilon) - d}{2\left[tg\alpha_1 - tg\beta(1-\varepsilon)\right]}; \qquad (19.90)$$

$$tg\beta = \frac{D_{0_{max}} - D_{0_{min}}}{2 l_0} . \qquad (19.91)$$

19.4.2. Расчет размеров заготовок лейнированных (биметаллических) стволов

При радиальном обжатии лейнированных стволов применяется составная (сборная) заготовка (рис. 19.15), состоящая из оболочки (сталь) и вкладыша (жаропрочный сплав).

Форма и размеры заготовки вкладыша для лейнера определяются по форме и размерам лейнера с учетом степени деформации и условия постоянства объема.

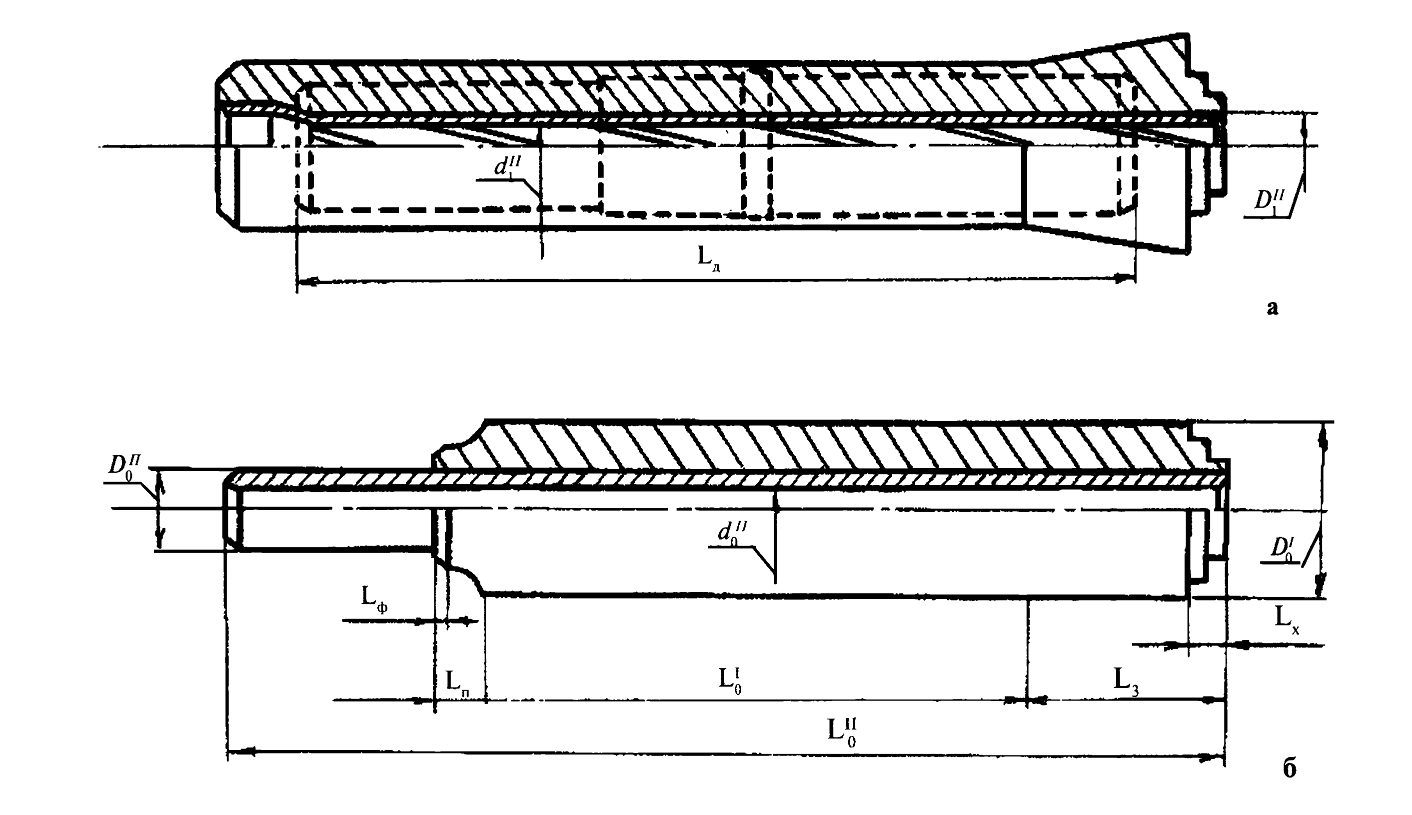


Рис.19.15. Схема к расчету размеров заготовок лейнированных стволов: а - поковка лейнированного (биметаллического) ствола, б - составная заготовка (сборный пакет)

Поскольку лейнер может быть цилиндрический, конический и цилиндро-конический, то и заготовка будет иметь такую же форму.

Наружный диаметр цилиндрической заготовки для лейнера определяется по формуле:

$$D_{0_л}=\frac{D_л-d_л}{1-\varepsilon_2}+d_{0_л}, \qquad (19.92)$$

где $D_{0_л}$ - наружный диаметр заготовки лейнера;

$D_л$ - наружный диаметр лейнера;

$d_л$ - внутренний диаметр лейнера (канала ствола);

$d_{0_л}$ - внутренний диаметр заготовки лейнера (определяется по формуле (19.79));

ε_2 - степень деформации лейнера.

Длина цилиндрической заготовки лейнера может быть найдена по формуле, полученной из условия постоянства объёма:

$$l_0=\frac{D_л^2-d_л^2}{D_{0_л}^2-d_{0_л}^2}\cdot l, \qquad (19.93)$$

где l - длина лейнера с учетом припуска на подрезку торцов.

Наружные диаметры конической заготовки для лейнера определяются по формулам:

$$\left.\begin{aligned} D_{0_{л\max}}&=\frac{D_{л\max}-d_л}{1-\varepsilon_2}+d_{0_л};\\ D_{0_{л\min}}&=\frac{D_{л\min}-d_л}{1-\varepsilon_2}+d_{0_л}, \end{aligned}\right\} \qquad (19.94)$$

где $D_{0_{л\max}}$, $D_{0_{л\min}}$ - максимальный и минимальный наружные диаметры заготовки для лейнера;

$D_{л\max}$, $D_{л\min}$ - максимальный и минимальный наружные диаметры лейнера.

Длина конической заготовки для лейнера определяется из выражения:

$$l_0=\frac{\frac{1}{3}\left(D_{л\max}^2+D_{л\min}^2+D_{л\max}\cdot D_{л\min}\right)-d_л^2}{\frac{1}{3}\left(D_{0_{л\max}}^2+D_{0_{л\min}}^2+D_{0_{л\max}}\cdot D_{0_{л\min}}\right)-d_{0_л}^2}\cdot l, \qquad (19.95)$$

где l - длина конического лейнера с учетом припуска на подрезку торцов.

В случае цилиндро-конической формы лейнера размеры заготовки для лейнера определяются отдельно для цилиндрических и конических участков по приведенным выше формулам.

Формы и размеры заготовки для оболочки определяются по форме и размерам оболочки с учетом степени деформации и условия постоянства объема.

Наружный диаметр цилиндрической заготовки для оболочки, исходя из наружного диаметра оболочки и степени деформации, может определяться по формуле:

$$D_{0_1}=\frac{D_1-d_1}{1-\varepsilon_1}+d_{0_1}, \qquad (19.96)$$

где D_{0_1} - наружный диаметр заготовки для оболочки;

D_1 - наружный диаметр оболочки;

ε_1 - степень деформации оболочки;

d_{0_1} - внутренний диаметр заготовки для оболочки;

d_1 - внутренний диаметр оболочки.

Длина цилиндрической заготовки для оболочки определяется из выражения, полученного из условия постоянства объема:

$$l_{0_1}=\frac{D_1^2-d_1^2}{D_{0_1}^2-d_{0_1}^2}\cdot l, \qquad (19.97)$$

где l - длина оболочки с учетом припуска на обрезку торцов.

Наружные диаметры конической заготовки для оболочки определяются из выражения:

$$\left.\begin{aligned} D_{0_{1max}} &= \frac{D_{1max}-d_{1max}}{1-\varepsilon_1}+d_{0_{1max}}; \\ D_{0_{1min}} &= \frac{D_{1min}-d_{1min}}{1-\varepsilon_1}+d_{0_{1min}}, \end{aligned}\right\} \qquad (19.98)$$

где $D_{0_{1max}}$, $D_{0_{1min}}$, - максимальный и минимальный наружные диаметры заготовки для оболочки;

$d_{0_{1max}}$, $d_{0_{1min}}$, - максимальный и минимальный внутренние диаметры заготовки для оболочки;

D_{1max}, D_{1min}, - максимальный и минимальный наружные диаметры оболочки;

d_{1max}, d_{1min}, - максимальный и минимальный внутренние диаметры оболочки.

Длина конической заготовки для оболочки определяется из выражения:

$$l_0=\frac{\left(D_{1max}^2+D_{1min}^2+D_{1max}\cdot D_{1min}\right)-\left(d_{1max}^2+d_{1min}^2+d_{1max}\cdot d_{1min}\right)}{\left(D_{0_{1max}}^2+D_{0_{1min}}^2+D_{0_{1max}}\cdot D_{0_{1min}}\right)-\left(d_{0_{1max}}^2+d_{0_{1min}}^2+d_{0_{1max}}\cdot d_{0_{1min}}\right)}\cdot l, \qquad (19.99)$$

где l - длина оболочки с учетом припуска на подрезку торца.

В случае цилиндро-конической формы оболочки размеры заготовки определяются отдельно для цилиндрических и конических участков по приведенным выше формулам.

Размеры заходной и поводковой технологических частей определяются по формулам (19.83 - 19.91).

19.4.3. Выбор заготовки

При выборе заготовки следует исходить из требований технологичности, т.е. в качестве исходной следует выбирать заготовку, которая обеспечивает минимальную трудоемкость, себестоимость при ее обработке и максимальный КИМ.

В качестве исходных заготовок в настоящее время применяются поковки, штамповки и механически обработанные заготовки по ГОСТ В10200-71, прокат по ГОСТ 5160-70, холоднотянутые трубы по ГОСТ 8754-58, а также полые заготовки, полученные на прошивочных станах винтовой прокатки.

Наиболее технологичными являются трубные заготовки, полученные винтовой прокаткой.

Для получения заготовки под радиальное обжатие исходная заготовка подвергается механической обработке.

Типовой технологический процесс изготовления заготовки под радиальное обжатие при использовании сплошной исходной заготовки из проката включает следующие основные операции:

глубокое сверление;
термическая обработка;
развертывание отверстия;
обработка наружной поверхности;
электрохимическая обработка отверстия.

Типовой технологический процесс изготовления заготовки под радиальное обжатие при использовании прошитой трубчатой заготовки, полученной на стенде винтовой прокатки, включает следующие основные операции:

термическая обработка;
развертывание отверстия;
обработка наружной поверхности;
хонингование отверстия.

Следует отметить, что наиболее технологичным процессом получения заготовок под радиальное обжатие является последний.

19.5. СОДЕРЖАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ХОЛОДНОГО РАДИАЛЬНОГО ОБЖАТИЯ ЗАГОТОВОК СТВОЛОВ

Содержание и последовательность операций холодного радиального обжатия следующие: протирка наружной поверхности заготовки, протирка и смазка внутренней поверхности заготовки, протирка и смазка оправки; радиальное обжатие с охлаждением наружной поверхности, протирка наружной и внутренней поверхности поковки, размагничивание поковки, контроль.

Для протирки наружных поверхностей заготовки и поковки применяется ветошь по ГОСТ 5354-79, для протирки внутренних поверхностей - марля по ГОСТ 9412-77.

В качестве технологической смазки применяется масло ИСП-14 по ТУ-38-4011-75.

В случае налипания в процессе обжатия металла на оправку допускается перед нанесением смазки меднение внутренней поверхности заготовки химическим способом с последующей протиркой насухо.

Для охлаждения поковки в процессе радиального обжатия применяется охлаждающая жидкость (эмульсия), состав которой определяется по ГОСТ 9.028-74.

Размагничивание поковок производится с применением демагнитизатора типа Э-724.

Операции контроля включают визуальный контроль заготовок, контроль размеров, непрямолинейности, разностенности заготовок и поковок.

Визуальный контроль производится сравнением с эталоном, утвержденным в установленном порядке.

Контроль размеров канала ствола производится калибрами-пробками ОСТ В3-3374-76 по ОСТ 3-3386-76 и пневматическими пробками ОСТ 3-5614-84 по ОСТ 3-5620-84. Контроль наружных размеров осуществляется измерительными скобами ОСТ 3-1264-72 по ОСТ 3-1273-72. Контроль разностенности проводится устройствами для измерения разностенности ОСТ 3-5621-84 по ОСТ 3-5621-84.

19.6. ВЫБОР СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ

19.6.1. Оборудование

Для холодного и горячего радиального обжатия применяются четырехбойковые радиально-обжимные машины австрийской фирмы “GFM”. Технические характеристики радиально-обжимных машин приведены в табл. 19.3.

Таблица 19.3

Технические характеристики радиально-обжимных машин.

№ п/п	Наименование параметра	SVD-412, SVK-412	SHK-10	SHK-17	SXP-25	SXP-55	SXP-85
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Усилие на боек, кН	1000	1200	3000	3500	10000	30000
2	Максимальная длина обрабатываемых деталей, мм	900	1100	3000	6000	10000	18000

1	2	3	4	5	6	7	8
3	Скорость вращения заготовки, об/мин	до 100*	до 100*	до 80*	до 50*	до 30*	до 10*
4	Максимальный диаметр обрабатываемых деталей, мм	30	50	150	250	550	850
5	Осевая подача, мм/мин	до 500*	до 500*	до 500*	до 800*	до 1000*	до 2000*
6	Частота обжатия, ударов/мин	800	1000	580	350	250	150
7	Мощность электродвигателей, кВт	35	75	190	630	1900	4000
8	Масса машины, кг	20000	28000	55000	175000	850000	2000000

* регулирование бесступенчатое.

Машина, основным узлом которой является ковочная коробка с размещенным в ней четырьмя бойками, совершающими возвратно-поступательное движение от эксцентрикового механизма, оснащена устройством подачи, противодавления, вращения, нагрева и охлаждения заготовки, механизмами позиционирования оправки, загрузки и выгрузки заготовок. Она может работать в наладочном режиме и автоматически по заданной программе.

Шток механизма подачи имеет смежный толкатель, наружный диаметр которого несколько меньше диаметра ковки для свободного прохождения между бойками.

Полость штока выполнена таким образом, чтобы обеспечивалось свободное прохождение оправки и тяги. Шток соединен с механизмом подачи, а тяга оправки соединена с упорным механизмом, установленным на упорных подшипниках, обеспечивающих почти свободное вращение этих деталей при контакте бойков с заготовкой.

Положение оправки относительно бойков регулируется с помощью механизма позиционирования, обеспечивающего установку оправки в нужное положение, либо движение ее вместе с заготовкой (см. рис. 19.1).

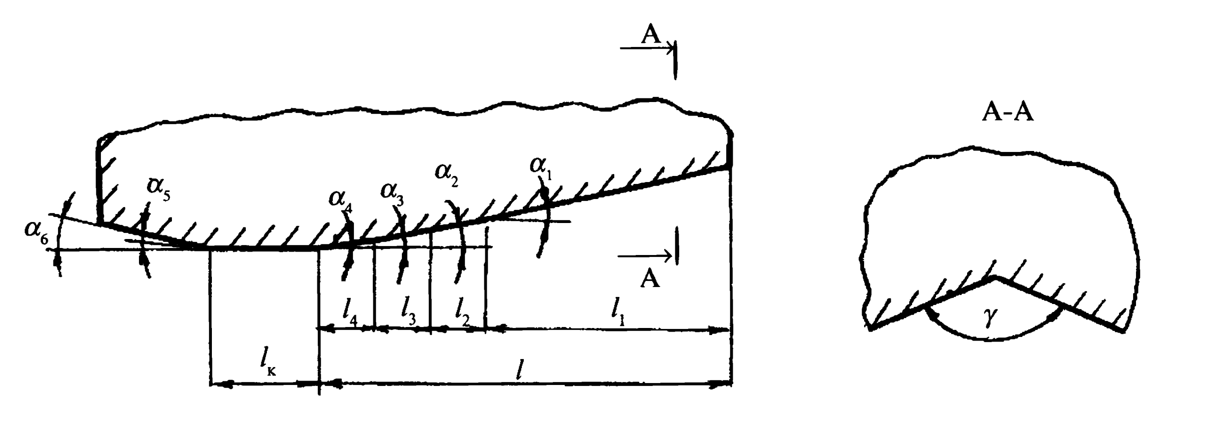


Рис. 19.16. Профиль рабочей полости бойка

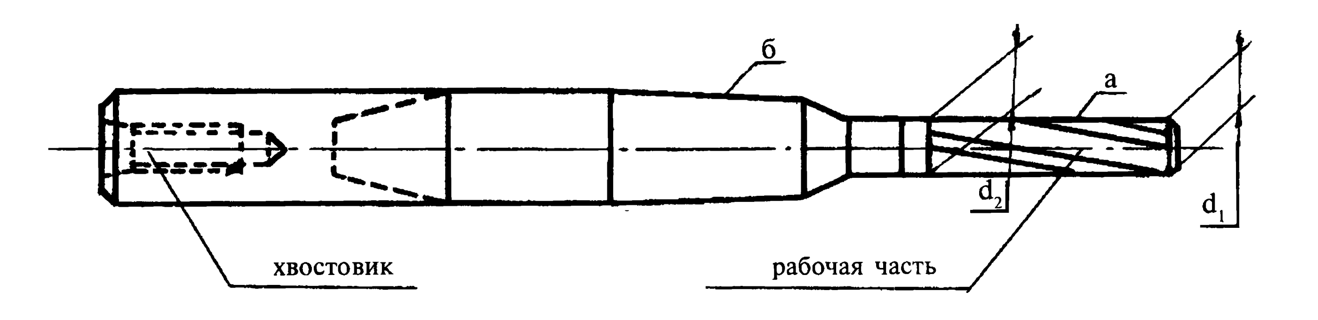


Рис. 19.17. Конструкция оправки

Контрфиксатор с подпорным штоком соединен с гидроцилиндром для обеспечения постоянного противодавления на выходной конец поковки. Этот шток такого же диаметра, что и поковка. Диаметр ковки регулируется специальным механизмом.

19.6.2. Инструмент

Инструментами при радиальном обжатии являются бойки (рис. 19.16) и оправки (рис. 19.17).

Боек имеет основание и рабочую полость. Форма основания определяется конструкцией узла крепления в машине. Профиль рабочей полости бойка в продольном сечении состоит из заходной части, характеризующейся углами α_1, α_2, α_3, α_4; участка калибровки длиной $l_к$ и выходного участка с углами α_5, α_6. Величины углов принимаются в пределах: α_1=6-10°; α_2=4-6°; α_3=2-4°; α_4=0,5-2°; α_5=0,5-1°; α_6=1-3°.

Длина заходной части выбирается из условия обеспечения свободного захода максимального диаметра заготовки в бойки и предотвращения ковки их кромками. Длина участка с углом α_1 составляет 70 - 80 % от длины заходной части "l", длины участков с углами α_1, α_2, α_3, α_4 принимаются одинаковыми.

В поперечном сечении бойки на всех участках имеют форму ромба с углом γ = 135-155°, либо круга (радиусное). Применяются также бойки с профилем заходной части в виде участка с одним углом α_1 или двумя углами α_2 и α_3, а выходного участка - с одним углом α_6.

Минимальный диаметр заготовки, которую можно обжать данными бойками на требуемую степень деформации, определяется из закрытой высоты бойков (диаметр вписанной окружности в профиль калибрующей части бойков при их сведенном состоянии).

Параметр шероховатости рабочих поверхностей бойка должен быть в пределах 0,63 - 1,25 мкм по ГОСТ 2789-73.

Бойки изготавливаются из твердого сплава ВК15С по ТУ-19-4201-26-80, либо из инструментальных сталей Х12Ф1 по ГОСТ 5950-73, 4Х5МФС по ГОСТ 5950-73, Р6М5 по ГОСТ 19265-73, ЭП761 по ТУ-14-1227-75.

Размеры бойков для холодного радиального обжатия на машинах SHK-10 определены по ОСТ 3-5472-83.

Конструкция оправки, применяемой для радиального обжатия, приведена на рис. 19.17. Оправка применяется составной в виде рабочей части из твердого сплава ВК20М или ВК15С по ТУ 19-4201-26-80 и хвостовика из стали 45 или 50 по ГОСТ 1050-74, соеди-

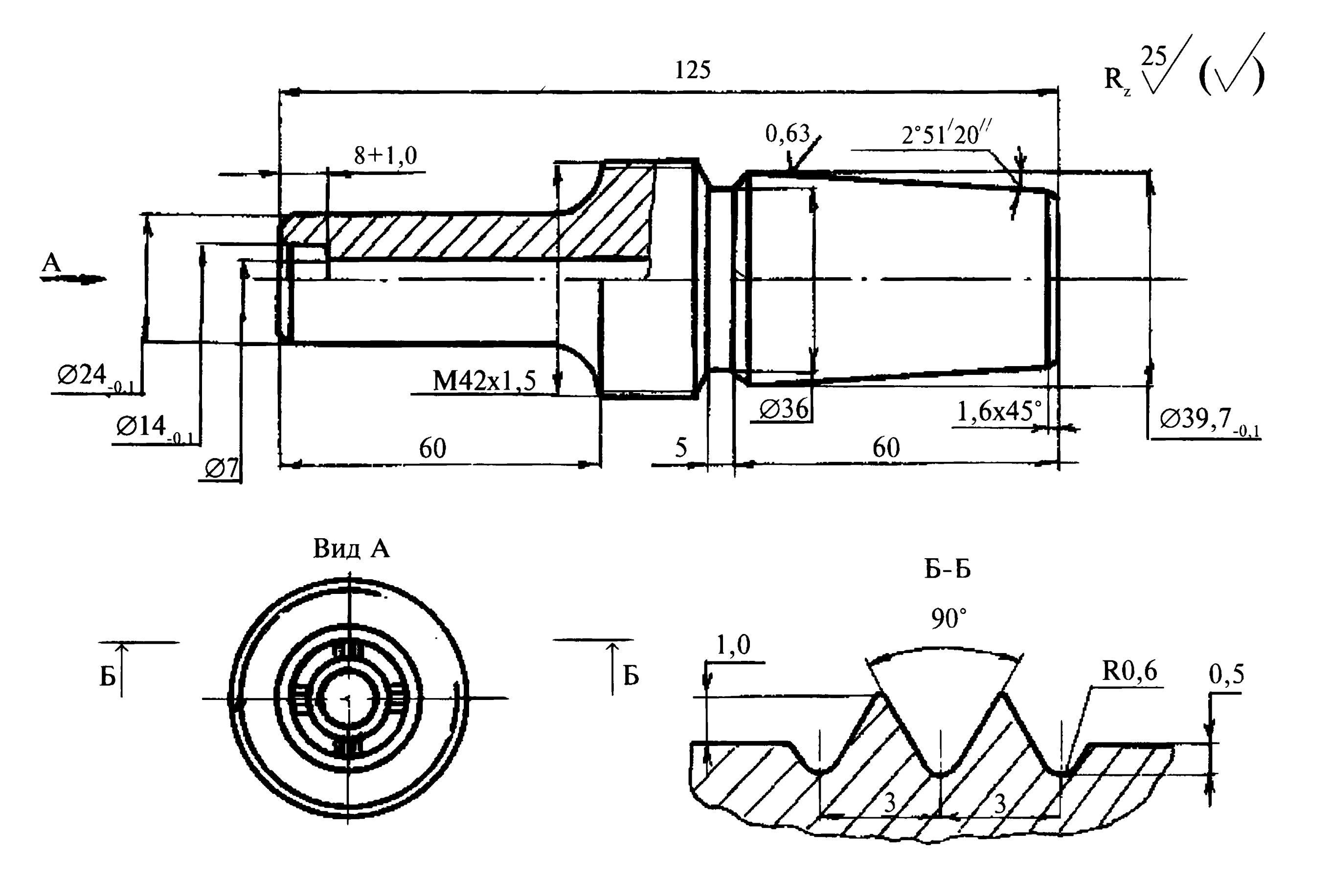


Рис. 19.18. Конструкция поводкового патрона (для машины SHK-10)

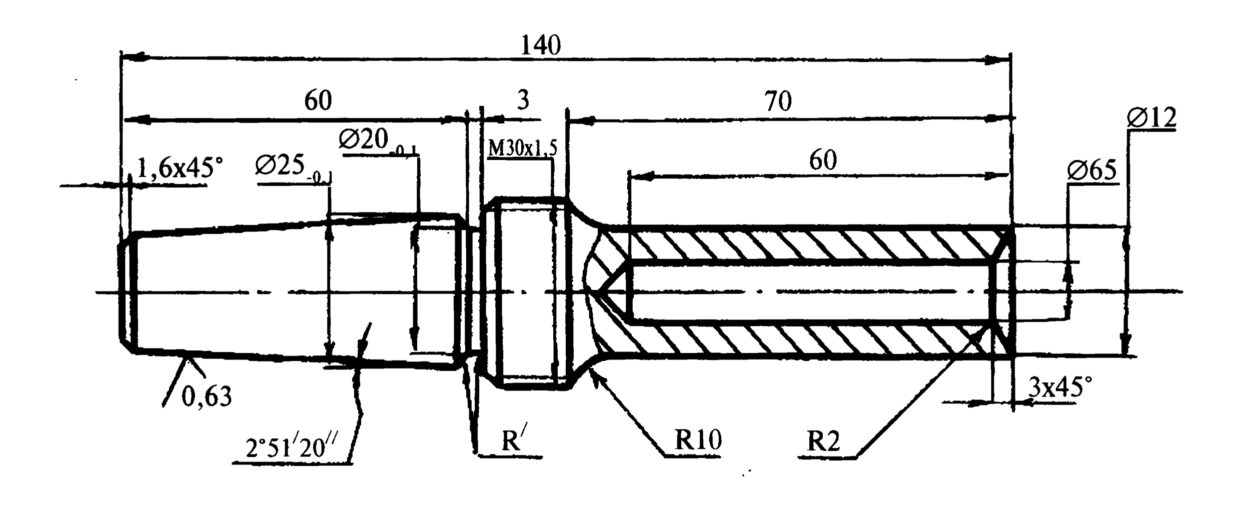


Рис. 19.19. Конструкция подпорного центра (для машины SHK-10)

ненных между собой при помощи высокотемпературной пайки латунью типа Л62.

Рабочая часть оправки проектируется исходя из требуемых окончательных размеров канала ствола и патронника. Она является их зеркальным отображением.

С целью облегчения извлечения оправки из обжатой заготовки и возможности настройки операции на требуемый размер нарезная рабочая часть оправки выполняется с конусностью 0,02 - 0,05 мм на 100 мм длины ($d_1<d_2$).

Длина нарезной части оправки (а) выбирается такой, чтобы она была несколько большей суммы длин заходной и калибрующей частей бойка.

Конфигурация конической части оправки (б) соответствует конфигурации патронника.

Точность изготовления рабочей части оправки соответствует 6-7 квалитетам по ГОСТ 25347-82, шероховатость находится в пределах R_a=0,04-0,08 мкм по ГОСТ 2789-73.

Конструкции и размеры оправок для радиального обжатия заготовок стволов малокалиберного спортивного и охотничьего оружия определяются по ОСТ 3-5884-83.

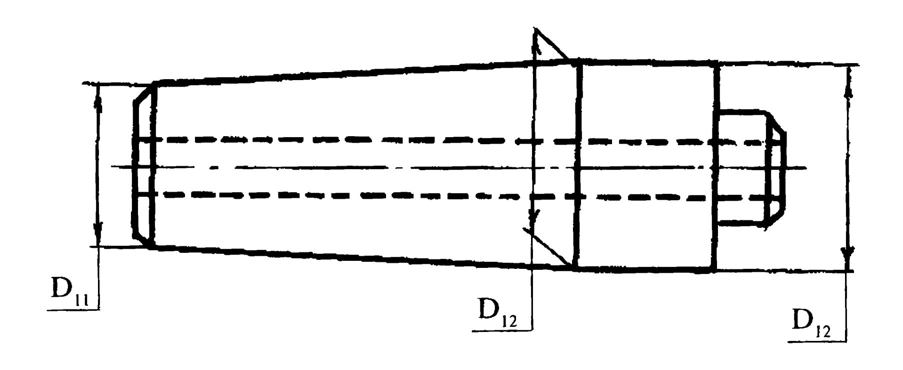
19.6.3. Приспособления

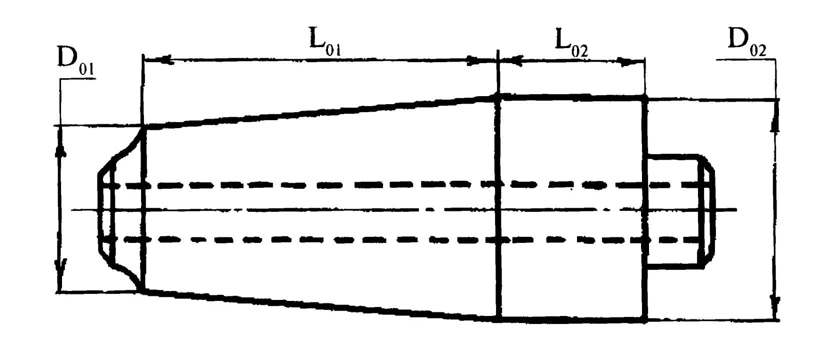
К приспособлениям относятся поводковый патрон и подпорный центр (контрцентр или контрфиксатор), служащие для зажима и центрирования обрабатываемой заготовки. Конструкции поводкового патрона и подпорного центра, применяемых при радиальном обжатии на машине SHK-10, приведены соответственно на рис. 19.18 и 19.19.

Размеры рабочих элементов приспособлений определяются размерами поводковой и подпорной частей заготовок, а размеры хвостовиков - конструкцией машины.

К технологической оснастке относится также копирная линейка, применяемая в качестве копира при обжатии заготовок со сплошным профилем наружной поверхности.

Расчет копиров производится по формулам, приведенным в табл. 19.4., исходя из формы поковки. Схема к расчету копиров для машины SHK-10 приведена на рис. 19.20.





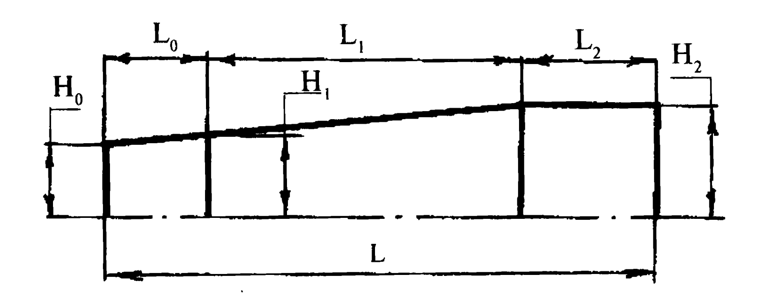


Рис. 19.20. Схема к расчету копира (для машины SHK-10)

Таблица 19.4

Формулы для расчета копиров

Размер копира	Тип машины	
	SHK-10	SHK-17
H_1	$D_{01}-D_{11}+55$	$D_{01}-D_{11}+65$
H_2	$D_{02}-D_{12}+55$	$D_{02}-D_{12}+65$
L_0	$\frac{H_1-55}{H_2-H_1}\ L_{11}$	$\frac{H_1-65}{H_2-H_1}\ L_{11}$
L_1	$L_{01}+l$	$\frac{1}{2}L_{11}$
L_2	L_{02}	$\frac{1}{2}L_{12}$
L	$L_0+L_1+L_2+$ 20....25	$L_0+L_1+L_2+$ 20....25

19.7. ВЫБОР РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ И ОБОРУДОВАНИЯ

К режимам обработки относятся степень деформации "ε", величины подпоров со стороны механизма подачи "Q_2" и конфиксатора "Q_1", скорости подачи "V" и скорости вращения заготовки "ω".

Приведенный выше анализ напряженно-деформированного состояния с энерго-силовыми параметрами процесса позволяет определить усилие деформирования, мощность и по этим данным выбрать оборудование, необходимое для радиального обжатия заготовок.

19.7.1. Выбор степени деформации при радиальном обжатии заготовок моноблочных (монометаллических) стволов

Для получения качественной поковки степень деформации должна находиться в пределах

$$\varepsilon_{min} < \varepsilon < \varepsilon_{пред},$$

где ε_{min} - минимальная степень деформации при радиальном, обеспечивающая полное заполнение профиля оправки:

$$\varepsilon_{min}=1-\left[\exp\left(-\frac{\frac{h}{l}-\frac{q_2}{\sigma_T}}{\frac{\mu-tg\alpha}{tg\alpha}}\right)\right]^2;$$

h - глубина нареза;

l - ширина нареза;

q_2 - усилие подпора со стороны патрона;

$\varepsilon_{пред}$ - предельная степень деформации, начиная с которой возможно налипание металла заготовки на оправку и разрушение материала из-за перенаклепа:

$$\varepsilon_{пред}=1-\left[\exp-\frac{\sqrt{\left(1-2\frac{T}{T_m}\right)^2\frac{\sigma_{T_u}}{\sigma_T}-4\mu^2-\frac{\sigma_x}{\sigma_T}-\frac{q_2}{\sigma_T}-1}}{\frac{\mu-tg\alpha}{tg\alpha}}\right].$$

В том случае, если $\varepsilon_{min} > \varepsilon_{пред}$ для получения качественной поковки необходимо меднение канала заготовки до радиального обжатия.

19.7.2. Определение степени деформации при радиальном обжатии заготовок лейнированных стволов

Степень деформации лейнера определяется зависимостью:

$$\varepsilon_2=1-\frac{S_2}{S_{02}},$$

где S_2 - толщина стенки лейнера,

S_{02} - толщина стенки заготовки.

Далее, рассчитывается степень деформации оболочки по соотношению:

$$\varepsilon_1=1-\frac{S_1}{S_{01}},$$

где S_1 - толщина стенки оболочки,

S_{01} - толщина стенки заготовки оболочки.

Отношение $\frac{S_1}{S_{01}}$ может быть найдено из следующего трансцендентного уравнения:

$$\frac{S_1}{S_{01}}=\exp\left\{\left[-\frac{\frac{\sigma_{T2}}{\sigma_{T1}}-\mu_2\frac{S_{01}}{S_{02}}\left(1-\frac{S_{02}}{S_2}\cdot\frac{S_1}{S_{01}}\right)ctg\,\alpha}{1-\frac{S_{02}}{S_2}\cdot\frac{S_1}{S_{01}}\left(1\ \frac{S_{02}}{S_2}\cdot\frac{S_1}{S_{01}}\right)ctg\,\alpha\cdot\mu_3}+\frac{q_2}{\sigma_{T_1}}+1\right]\cdot\frac{tg\alpha}{\mu_1-tg\alpha}\right\}.$$

Для расчетов по этой формуле необходимо вначале задаться отношением $\frac{S_{01}}{S_{02}}$. В качестве первого приближения можно принять его равным $\frac{S_1}{S_2}$. Затем вычислить $\frac{S_1}{S_{01}}$, найти значения S_{01} и S_{02} и полу-

чить второе приближение $\frac{S_{01}}{S_{02}}$. Обычно требуется одна или две итерации для определения ε_1 с достаточной точностью.

Общую степень деформации двухслойной заготовки, после определения величин ε_1 и ε_2, находят по формуле:

$$\varepsilon = 1 - \frac{S}{S_0},$$

где $S = S_1 + S_2$; $S_0 = S_{01} + S_{02}$.

19.7.3. Определение подпора со стороны контрфиксатора и механизма подачи

Величина подпора со стороны контрфиксатора, при которой непрямолинейность равна нулю, может быть найдена по формуле:

$$Q_1 = \frac{\frac{\mu - tg\alpha}{tg\alpha} \cdot \ln\frac{S_0}{S} \cdot \frac{\varepsilon \cdot \left(D_0^2 - d_0^2\right)}{4} \cdot \sigma_T}{\frac{D_0^2 - d_0^2}{D^2 - d^2} - \frac{Q_2}{Q_1}}.$$

Величина подпора со стороны механизма подачи при этом принимается в пределах:

$$Q_2 = (1{,}1 - 1{,}3) \cdot Q_1$$

Следует отметить, что при большой величине подпора возникают сильные вибрации. Для их снижения уменьшают величину подпора. Причем уменьшают настолько, чтобы величина непрямолинейности не выходила за пределы допуска.

Найденное усилие подпора со стороны контрфиксатора следует проверить на условие отсутствия потери устойчивости.

$$Q_1 < P_{кр} = \pi^2 \frac{EJ}{l^2},$$

где E - модуль упругости материала заготовки;

J - модуль инерции сечения;

$$J = \frac{\pi}{64} \cdot \left(D^2 - d^2\right);$$

l - длина поковки (заготовки).

При невыполнении последнего условия величину Q_1 уменьшают и, если при этом величина непрямолинейности выйдет за поле допуска, то уменьшают величину разностенности заготовки.

19.7.4. Определение скорости подачи заготовки

Максимальная величина подачи заготовки на удар определяется исходя из условия отсутствия волнистости на поверхности канала ствола:

$$S_n=\left(1-\sqrt{1-\left[\frac{0{,}065\,{}^{S}\!/_{R}}{\dfrac{0{,}283\,{}^{\rho_н}\!/_{R}\left(1-{}^{r_0}\!/_{R}\right)}{1-0{,}5\,{}^{S}\!/_{R}-{}^{r_0}\!/_{R}}+0{,}5}\right]^2}\right)\cdot\frac{R}{tg\alpha\cdot\cos\gamma},$$

где $\rho_н$ - радиус нейтральной оси.

По величине подачи на удар находится скорость подачи заготовки

$$V_n = S_n \cdot n,$$

где n - число ударов бойка в минуту.

19.7.5. Определение скорости вращения заготовки

При обжатии в ромбических бойках максимально допустимая скорость вращения определяется из условия перекрытия следов обработки:

$$\omega \le \frac{n}{\pi}\cdot\arcsin\left(6\sqrt{1-\left(1-\frac{2S_n}{D}\cdot tg\alpha\cos\gamma\right)^2}\right).$$

При обработке в радиусных бойках скорость вращения может быть максимально возможной для данного оборудования, ограничений в этом случае нет.

19.7.6. Определение энерго-силовых параметров и выбор оборудования

По вышеприведенным формулам (см. параграф 19.1) находятся усилие, приходящееся на один боек (радиусный и ромбический), и потребляемая мощность и по этим данным с учетом максимально допустимого диаметра и длины заготовки выбирается радиально-обжимная машина (по табл. 19.3.)

Для удобства расчетов величины ε_{min}, $\varepsilon_{пред.}$, ε_1, ε_2, S_n, ω, P, N могут быть найдены по номограммам (рис. 19.21 - 19.25).

После завершения всех этапов проектирования технологии составляется техническая документация на технологический процесс в соответствии с требованиями ЕСТД.

ε

0,3

0,2

0,1

α=10°

α=8°

α=6°

α=4°

0,1 0.2 0,3 0,4 0,5 0,6 h/L

Рис. 19.21. Номограмма для выбора минимальной степени деформации

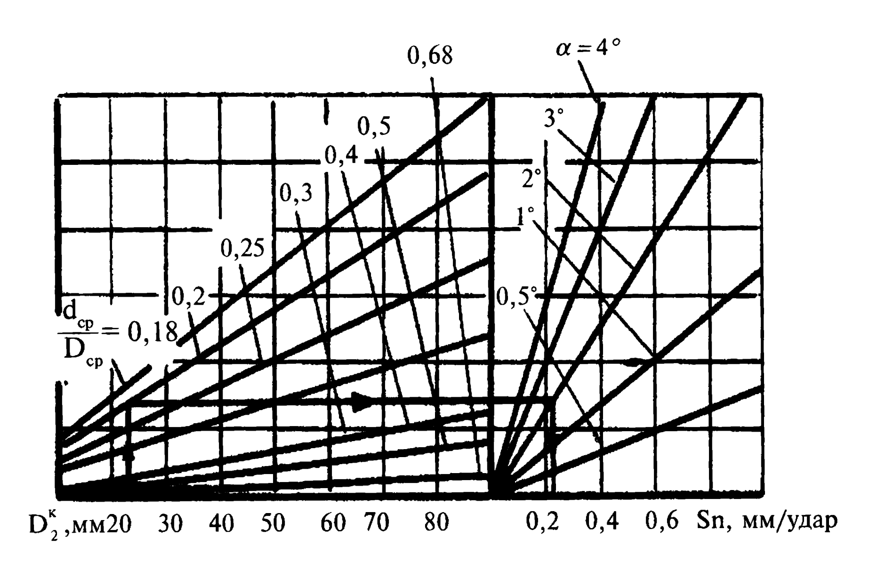


Рис. 19.21. Номограмма для выбора величины подачи заготовки на удар

Sn, мм/удар 0,1 0,15 0,2 10 20 30 40 50 60 70 80 90 ω, об/мин

Рис.19.23. Номограмма для выбора скорости вращения заготовки

Px10^5, кН 2 4 6 8 10 12,5

Sn, мм/удар 0,1 0,15 0,2 0,25 0,3 10 20 30 40 50 N, кВт

Рис. 19.24. Номограмма для определения эффективной мощности обжатия

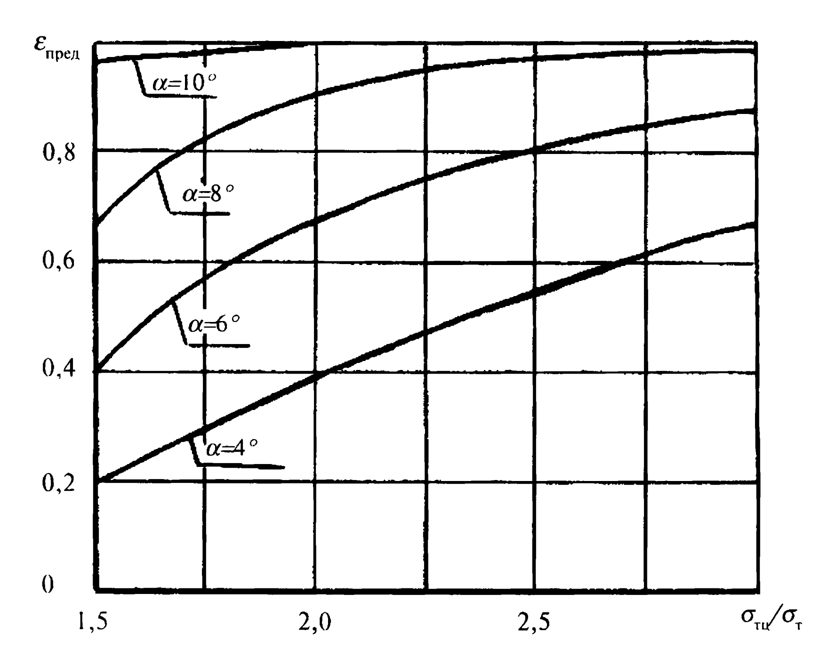


Рис. 19.25. Номограмма для определения $\varepsilon_{пред}$

19.8. ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ

Приведенные рекомендации определяют только диапазон изменения режимов обработки, обеспечивающих получение заданного качества, но в них нет указаний, какие же конкретно режимы обработки следует выбирать для проектируемой технологии. Между тем от выбора конкретной величины того или иного режима обработки во многом зависят трудоемкость изготовления, себестоимость продукции, производительность и т.д. Так, например, от выбора степени деформации зависят размеры заготовки, а размеры определяют трудоемкость изготовления (чем больше степень деформации, тем больше внутренний и наружный диаметр заготовки и тем она короче, а чем короче заготовка, тем легче получить отверстие и тем меньше время обработки). От выбора скорости подачи зависит производительность процесса (чем больше скорость подачи, тем меньше время обработки одной и той же детали). Вместе с тем от таких режимов обработки, как степень деформации, скорость подачи, скорость вращения, величина подпора зависят энергетические затраты (чем больше степень деформации, скорость подачи и подпор, тем больше усилие; чем больше скорость подачи и скорость вращения, тем больше мощность, затрачиваемая на пластическое формоизменение).

В связи с этим очень важно выбрать так режимы обработки, чтобы энергозатраты и себестоимость были минимальными, а производительность - максимальной и при этом обеспечивалось заданное чертежом качество изделий.

Для того чтобы достичь этой цели, необходимо оптимизировать процесс. Под оптимизацией процесса радиального обжатия понимается выбор таких режимов обработки, которые обеспечивают получение заданного качества при минимальных затратах. Таким образом, для оптимизации процесса необходимо найти экстремум целевой функции путем соответствующего выбора проектных параметров.

Проектными параметрами, значения которых надо определить в данной задаче оптимизации, являются: степень деформации (ε), величины подпоров со стороны контрфиксатора (Q_1) и цилиндра подачи (Q_2), скорости подачи ($V_п$), скорость вращения заготовки (ω).

Целевые функции: функции затрат и функции качества.

К целевым функциям затрат относятся: производительность процесса, мощность обжатия и трудоемкость изготовления.

К целевым функциям качества относятся: заданные чертежом разностенность (Δr), непрямолинейность (ΔH), геометрическая и размерная стабильность, определяемую уровнем остаточных напряжений ($U_п$), заполнение профиля, отсутствие волнистости, отсутствие налипания и разрушения.

Целевые функции качества являются дискретными величинами. Они принимают два значения: 1 и 0, где "1" означает, что цель достигнута, а "0" означает, что принимаемое решение неудовлетворительно и цель не достигнута.

Условие достижения поставленной локальной цели обеспечения заданного качества определяются следующими неравенствами.

Условие обеспечения заданной разностенности

$\Delta r_а \leq [\Delta r]$.

Условие обеспечения заданной непрямолинейности

$\Delta H \leq [\Delta H]$

Условие заполнения профиля

$\varepsilon > \varepsilon_{min}$.

Условие отсутствия налипания

$\varepsilon > \varepsilon_{пред}$.

Условие отсутствия разрушения

$\varepsilon > \varepsilon_{i_{пр}}$.

Условие отсутствия волнистости

$$V_n < \left(1-\sqrt{1-\left[\frac{0{,}065\,S/R}{\dfrac{0{,}283\,\rho_н/R\left(1-r_0/R\right)}{1-0{,}5\,S/R-r_0/R}+0{,}5}\right]^2}\right)\cdot\frac{n\cdot R}{tg\alpha\cdot\cos\gamma}.$$

Условие обеспечения геометрической и размерной стабильности $U_п = \min$.

Проектные параметры ε, Q и ω также ограничены неравенствами:

$$\varepsilon_{min} < \varepsilon < \varepsilon_{пред};$$

$$Q < P_{кр};$$

$$\omega \le \frac{n}{\pi}\cdot \arcsin\left(6\sqrt{1-\left(1-\frac{S_n}{D}\cdot tg\alpha\cos\gamma\right)^2}\right).$$

Условия достижения локальной цели обеспечения минимума затрат следующие.

Производительность процесса определяется скоростью подачи (V_n) и должна быть максимальной.

Мощность обжатия должна быть минимальной.

Трудоемкость изготовления, определяемая, при прочих равных условиях, длиной заготовки ($l_з$), должна быть минимальной.

Следует отметить, что ряд локальных целевых функций является противоречивым. Так, условие максимальной производительности противоречит условию минимальной мощности, поскольку с ростом $V_п$ и N увеличивается. Поэтому введем в рассмотрение новую целевую функцию, которая позволяет устранить эти противоречия. В качестве такой функции выберем работу, затрачиваемую на обработку изделия:

$$A_и = N_э \cdot t_{шт},$$

где $$t_{шт} = \frac{l_з}{V_n}.$$

Глобальная цель оптимизации считается достигнутой, если проектные параметры выбраны таким образом, что обеспечивают минимальное значение функции ($A_и$) в области проектирования. Из формулы следует, что минимум функции "$A_и$" будет достигнут при условии, если мощность обжатия ($N_э$) и штучное время ($t_{шт}$) - минимальны. В свою очередь, штучное время минимально, когда длина заготовки ($l_з$) - минимальна, а скорость подачи ($V_п$) - максимальна.

Следует отметить, что эти условия полностью соответствуют поставленным выше локальным целям оптимизации.

Минимум функции "$A_и$" может быть найден одним из численных методов (градиентным, случайного поиска и т.д.).

Для каждого минимума функции "A_u" разрабатывается программа, которая позволяет автоматически рассчитывать на ЭВМ оптимальные параметры техпроцесса, обеспечивающие получение заданного чертежом качества изделий при минимальных затратах.

19.9. СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ХОЛОДНОГО РАДИАЛЬНОГО ОБЖАТИЯ ЗАГОТОВОК СТВОЛОВ

На основе изложенных математических моделей технологии и методики оптимизации процесса разработана система автоматизированного проектирования технологического процесса (САПР ТП), осуществляющая выбор оптимальных режимов обработки, определение размеров заготовки и вычерчивание чертежей заготовки и поковки.

Укрупненная блок-схема работы САПР ТП представлена на рис. 19.26.

Исходными данными являются марка материала заготовки и инструмента, размеры ствола, точность изготовления, припуски на механическую обработку, размеры инструментов (бойка и оправки). По программе автоматически осуществляется выбор степени деформации (ε), подпоров (Q_1 и Q_2), скоростей подачи (V_n) и вращения (ω) заготовки, которые обеспечивают получение заданного качества при условии обеспечения минимума целевой функции. При этом на печать выдаются режимы обработки, тип машины, чертежи поковки и заготовки.

Таким образом, система производит автоматический выбор проектных параметров, обеспечивающих получение заданного качества ствола при минимальных затратах, т.е. осуществляет оптимизацию процесса.

Система позволяет: снизить время на технологическую подготовку производства, снизить затраты на отладку технологии, повысить качество проектирования технологического процесса.

19.10. ТЕХНОЛОГИЯ ГОРЯЧЕГО РАДИАЛЬНОГО ОБЖАТИЯ

При горячем радиальном обжатии (рис. 19.27) длинная оправка вместе с заготовкой устанавливается в приспособлениях радиально-обжимной машины, нагревается токами высокой частоты до 800-900° С, деформируется при степенях обжатия до 80% и охлаждается на воздухе, после чего следует отпуск при температуре 500-600°С. Вращение и перемещение заготовки с оправкой обеспечивается от привода за счет того, в начальный момент времени обжатия часть металла затекает в замок оправки, который играет роль поводкового элемента. Далее оправка и заготовка перемещаются как одно целое. По окончании процесса обжатия и охлаждения заготовка выпрессовывается с оправки. Для устранения налипания (схватывания) металла заготовки на оправку применяются следующие составы смазок:

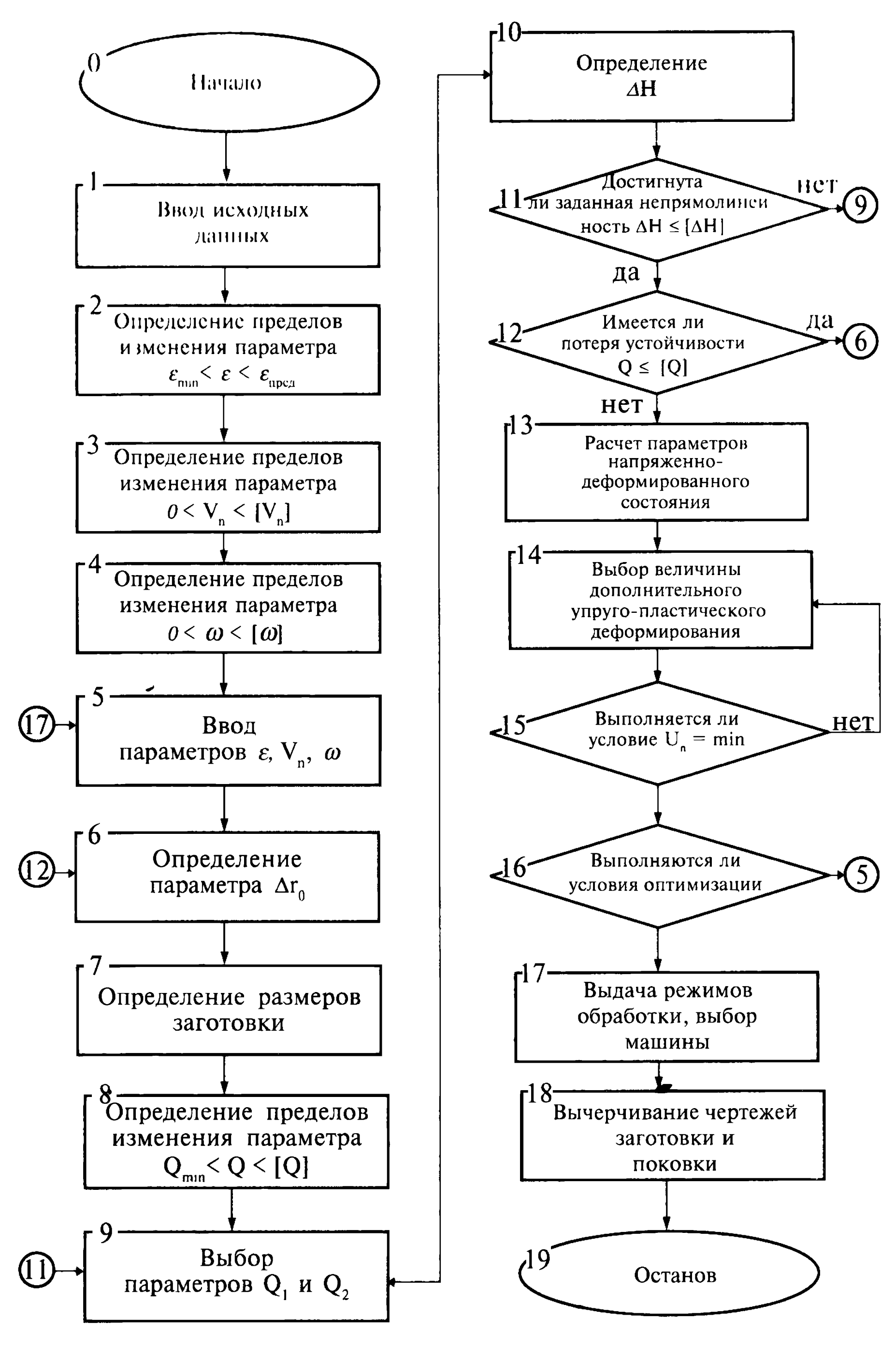


Рис. 19.26. Укрупненная блок-схема САПР ТП радиального обжатия стволов

1) олений (или бараний) жир - 70%, графит серебристый - 15%, масло минеральное (или растительное) - 10%, олеиновая кислота - 5%;

2) графит серебристый - 20%, дисульфит молибдена - 10%, масло минеральное - 70%.

Горячее радиальное обжатие гладкостенных стволов проводится на гладких оправках при повышенных скоростных режимах. Скорость перемещения заготовки в осевом направлении достигает до 500 мм/мин.

Горячее радиальное обжатие может проводиться как на вертикальных (SVD-412 и SVK-412), так и на горизонтальных зарубежных (SHK-10, SHK-17, SXP-25, SXP-55, SXP-85) и отечественных (В-0031, В-4032) радиально-обжимных машинах. На рис. 19.27 приведена технологическая схема горячего радиального обжатия трубных заготовок на длинной оправке на вертикальной машине.

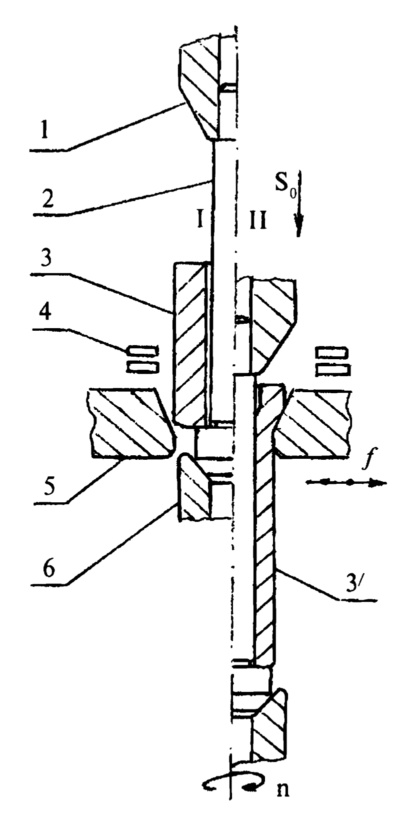


Рис. 19.27. Технологическая схема горячего радиального обжатия стволов на длинной оправке: I - начало обработки, II - конец обработки; 1 - патрон поводковый, 2 - оправка, 3 - заготовка, 3/ - поковка, 4 - индуктор, 5 - боёк, 6 - контрфиксатор

Конструкция длинной оправки приведена на рис. 19.28. Оправка изготовляется из сталей 3Х2В8ФА, Х12Ф1М, 3Х3М3Ф3 и жаропрочного сплава ЭП761 по ТУ 14-1227-75 и термически обрабатывается до $HRC_{э}$ 50-55. Рабочая часть оправки имеет конусность в пределах 0,01 - 0,03 мм на 100 мм длины ($d_1 > d_2$). Она изготовляется по 7 - 8 квалитету с шероховатостью R_a = 0,16-0,32 мкм и минимальной непрямолинейностью.

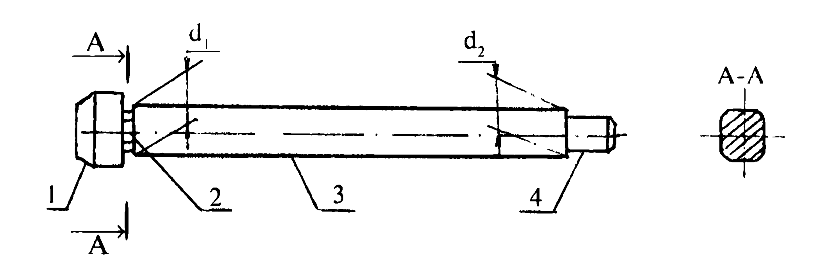


Рис. 19.28. Конструкция оправки: 1 - головка, 2 - замок, 3 - рабочая часть оправки, 4 - хвостовик

Необходимо отметить, что процесс горячего радиального обжатия является очень важным, потому что он используется при термомеханической обработке стволов стрелково-артиллерийского оружия повышенного могущества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теория и расчет автоматического оружия./ Под ред. Кириллова В.М. - Пенза: ПВАИУ, 1973. - 493 с.
2. Степанов В.Ф. Заготовки деталей машин. - Ижевск: Гарант-принт, 1996. - 380 с.
3. Полухин П.И., Потапов И.Н. Новая технология винтовой прокатки. - М.: Металлургия, 1975. - 344 с.
4. Обработка глубоких отверстий./ Под ред. Уткина Н.Ф. - Л.: Машиностроение, 1988. - 269 с.
5. Троицкий Н.Д. Глубокое сверление. - Л.: Машиностроение, 1971. - 176 с.
6. Минков М.А. Технология изготовления точных глубоких отверстий. - М.: - Л.: Машиностроение, 1965. - 176 с.
7. Костюкович С.С. и др. Точность обработки глубоких отверстий. - Минск: Вышейшая школа, 1978. - 144 с.
8. Подураев В.Н. Обработка резанием с вибрациями. - М.: Машиностроение, 1970. - 350 с.
9. Галахов П.А. Рациональная обработка точных отверстий машинными развертками. - Л.: ЛДНТП, 1977. - 28 с.
10. Подураев В.Н. Производство артиллерийских систем. - М.: ЦНИИ, 1981. - 493 с.
11. Балакшин А.Б. Производство и ремонт реактивных и артиллерийских систем. - М.: МО СССР, 1981. - 302 с.
12. Кацев П.Г. Протягивание глубоких отверстий. - М.: Оборонгиз, 1957. - 230 с.
13. Кацев П.Г. Протяжные станки и работа на них. - М.: Высшая школа, 1981. - 184 с.
14. Куликов С.И., Ризваков Ф.Ф., Романчук В.А. Прогрессивные методы хонингования. - М.: Машиностроение, 1983. - 135 с.

15. Проскуряков Ю.Г., Шельвинский Г.И. Дорнование цилиндрических отверстий с большими натягами. - Ростов: издательство Ростовского университета, 1982. - 168 с.
16. Вишницкий А.Л. и др. Электрохимическая обработка металлов.- Л.: Машиностроение, 1981. - 212 с.
17. Лайнер В.И. Защитные покрытия металлов. - М.: Металлургия, 1974. - 200 с.
18. Богорад Л.Я. Хромирование. -Л.: Машиностроение, 1984. - 300 с.
19. Орлов Б.В., Ларман Э.К., Маликов В.Г. Устройство и проектирование стволов. - М.: Машиностроение, 1976. - 432 с.
20. Лахоти Ж., Алтан Т. Анализ процесса радиального обжатия, применяемого для изготовления стержней и труб // Конструирование и технология машиностроения. - М.: Мир, 1976.- С. 218 - 226.
21. Радюченко Ю.С. Ротационное обжатие. - М.: Машиностроение, 1972. - 175 с.
22. Любвин В.И. Обработка металлов радиальным обжатием. - М.: Машиностроение, 1980. - 248 с.
23. Покрас И.Б., Князева Н.Н., Макаров А.И. Оптимизация процесса радиального обжатия труб // Состояние и перспективы развития холодного и полугорячего объемного деформирования. - Ижевск: НИТИ, 1983. - С. 19.
24. Власов О.Г., Казаченок В.И., Покрас И.Б. и др. Интенсификация процессов обработки металлов давлением. - Ижевск: Удмуртия, 1989. - 112 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Лицензия ЛУ № 056 от 6.01.98 г. Формат 60x90/16. Бумага офс. № 1. Печать офсетная. Усл.печ. л. 19,125. Тираж 100 экз. Заказ 0125.
Ижевская республиканская типография, 426057, г. Ижевск, ул Пастухова, 13.